



“Caracterización Hidrogeológica del Sector Este del Departamento Cruz Alta Provincia de Tucumán, República Argentina”



Autora: Rita de los Ángeles, Pérez

Director: Jorge W. García

Co-Director: Carlos H. D'urso

Seminario de Grado para obtener el título de GEÓLOGO AÑO: 2016

Agradecer y defender, la EDUCACION PUBLICA Y GRATIUTA

**“es un derecho fundamental y un pilar de la igualdad social, garantizando el acceso al
conocimiento sin barreras económicas” (Ley1420).**

Índice General

Índice	3
Prólogo	7
Resumen	8
Agradecimientos	9
Capítulo I Introducción	10
1 Introducción	11
1.1 Objetivos	11
Objetivos Principales.....	11
Objetivos Generales y Específicos	11
1.2 Metodología de Estudio	12
1.2.1 Trabajo de Gabinete	12
1.2.2 Trabajo de Campo	12
1.3 Ubicación y Vías de Acceso	13
• Fig1-Imagen de Radar de Ubicación	14
• Fig2-Mapa Base del área de estudio	15
Capítulo II Geografía	16
2 Introducción	17
2.1. Orografía	17
2.2 Hidrografía.....	20
• Fig.3-Mapa de Hidrográfico de la provincia de Tucumán	22
2.3. Flora y Fauna.....	23
• Fig.4 -Ejemplo del relieve presente en la zona y fauna característica.	24
2.4. Población	24
• Tabla 1-Datos poblacionales por departamentos.....	25
2.5. Clima	24
2.5.1-Vientos	25
2.5.2. Temperaturas.....	25
2.5.3. Precipitaciones	26

• Fig.5-Mapa de Vientos y Precipitaciones.....	27
Capítulo III Geología	28
3.1 Introducción.....	29
• Fig.6-Cuadro Estratigráfico	30
3.2 Estratigrafía.....	31
3.2.1 Precámbrico Superior- Cámbrico Inferior_	32
3.2.2 Cretácico	32
3.2.3 Terciario.....	33
Mioceno-Plioceno.....	34
3.2.4 Cuaternario.....	36
Pleistoceno-Holoceno.....	36
• Fig.7 -Sedimentos cuaternarios: material limo-arcilloso	37
• Fig. 8- Mapa Geológico	38
Capítulo IV Geoeléctrica	39
4.1 Introducción.....	40
• Fig.9-Recopilación de antecedentes.	40
4.2 Metodología.....	41
4.2.1 Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)	41
• Fig. 10- Esquema de un Dispositivo de Medición de SEV	42
4.3 Práctica del Sondeo Eléctrico	43
• Fig.11- Dispositivo Geometer MPX-400 y elementos necesarios.....	43
4.3.1 Prácticas de Campo y Mediciones.....	44
• Fig.12- SEV4 en localidad Los Pereyra Sur.....	44
• Fig.13 Equipo de trabajo operador y ayudantes.....	45
• Fig.14 Mapa de Ubicación de los sondeos Eléctricos y Perfiles Geológicos.....	46
4.4 Procesamiento de la Información	47
• Fig.15- Planilla Excel de cálculo del SEV N°5: Tacanas	47
4. 5- Resultados.....	48
4.6 Análisis Cualitativo.	48
• Tabla 2. Tipo de curvas de los SEV y ubicación.....	49
4.5.1 - Análisis Cuantitativo	49
Capítulo V Hidrogeología.....	51
5.1 Introducción	52
• Fig.16- Mapa de Cuencas Hidrográficas	53
5.2 Metodología	54
5.3 Balance Hídrico	54
• Tabla 3 Promedios de distintas estaciones pluviométricas.....	55

Balances Hídricos, Tablas y Gráficos de Estaciones Pluviométricas.....	56
• Tabla 4 , fig. 17- Estación El Bracho.....	56
• Tabla5 ,Fig. 18 -Estación Agua Dulce.....	57
• Tabla 6, Fig. 19 -Estación Los Ralos.....	58
• Tabla 7, Fig. 20-Estación Cruz Alta.....	59
• Tabla 8 , Fig. 21-Estación Lolita.....	60
• Tabla 9 ,5. Fig.22 -Estación Las Cejas.....	61
• Tabla 10 , Fig. 23-Estación tacanas.....	62
• Tabla 11, Fig.24- Estación Isca Yacu.....	63
• Tabla 12, Fig.25-Estación Gobernador Piedrabuena.....	64
5.3.1- Precipitación.....	65
• Tabla 13 Precipitaciones.....	65
5.3.1. a Método de las isohietas.....	66
• Fig. 26-Mapa de Isohietas.....	67
• Tabla 14 cálculo de volúmenes parciales de precipitaciones.....	68
5.3.2- Evapotranspiración.....	68
• Tabla 15- Evapotranspiraciones.....	69
5.3.2. a Método de las Isopletras.....	69
• Fig. 27 Mapa de Isopletras.....	70
• Tabla16-volúmenes de Evaporaciones.....	71
5.3.3- Escurrimiento.....	71
5.3.4- Infiltración.....	71
5.4- Hidrogeología.....	72
5.4.1-Descripción de las Perforaciones.....	72
• Tabla17 -Frecuencia y porcentaje de las profundidades de perforaciones.....	73
• Tabla 18- Distribución de Caudales.....	73
• Fig.28 de la tabla 17.....	74
• Fig. 29 de la tabla 18.....	74
5.5-Niveles Piezométricos.....	75
• Fig. 30-Mapa de Niveles Estáticos.....	76
• Fig. 31- Mapa de Isopiezas.....	77

5.6- Perfiles Hidrogeológicos del Subsuelo	78
Acuífero Superior , Intermedio, Superior	79
• Fig. 32 Perfil Geológico A-A'	81
• Fig. 33 Perfil Geológico B-B'	82
• Fig. 34 Perfil Geológico C-C'	83
• Fig.35 Perfil Geológico D-D'	84
5.6- Modelo Hidrogeológico del Área De Estudio	85
Capítulo VI Geoquímica	86
6.1 Introducción	87
• Fig.36 toma de conductividad en la localidad de Blanco Pozo	87
6.2 Metodología.....	88
6.3 Composición Iónica	88
6.3.1 Diagrama de Piper y su interpretación	89
• Tabla 19- Porcentaje de meq/l de aniones	89
• Tabla20- Porcentaje de meq/l de cationes	90
• Fig. 37 y Fig.38 Diagramas de Piper	91
6.3.2 Diagrama de Stiff y su interpretación	93
• Fig.39 Ejemplo de Diagrama de Stiff	93
• Fig. 40 Mapa de Diagrama de Stiff	94
6.3.4 Iones Mayoritarios	95
6.3.4 - Clasificación del agua para Irrigación Tabla 21-Parámetros del Diagrama Wilcox, ...	97
• Tabla 22- de clasificación según la salinidad	98
6.3.5-Clasificación de Agua para riego	98
• Fig.41--Diagrama de Wilcox	99
Conclusiones	100
Bibliografía	104
Anexo	108
Curvas de SEV	109
Tabla utilizada para nivel estático y curvas de Isopieza	116
Planilla de perforaciones , utilizados en capítulo V, porcentajes etc	117
Planillas químicas de las perforaciones utilizadas en capítulo VI	122
Diagrama de clasificación de Stiff	124

Prólogo

El estudio de la calidad del agua tanto como su disponibilidad y problemas derivados (captación, sobreexplotación, distribución, usos, contaminación antrópica y natural, etc.), es una temática creciente en muchas partes del mundo.

El ciclo natural del agua, por su gran capacidad de depuración y aparente abundancia han llevado a creer que los recursos hídricos son un bien inagotable. Informes de las Naciones Unidas demuestran lo contrario pudiéndose interpretar de ellos que, la carencia de agua potable es creciente y cada vez más preocupante.

Problemas como inundaciones, sequías y contaminaciones nos hacen tomar conciencia, como sociedad, del valor que tienen los recursos naturales en especial el recurso hídrico, el cual sufre sobreexplotación de aguas subterráneas. La Revolución Agro- Industrial y el crecimiento poblacional de muchas regiones generaron graves problemas de contaminación con normas insuficientes de control para el tratamiento de aguas servidas y desechos peligrosos, que afectan a las napas freáticas y acuíferos hasta aproximadamente los 100 metros de profundidad; estas situaciones afectarían la capacidad de regeneración de los recursos hídricos en el futuro.

Evaluar y conocer los citados recursos subterráneos, es campo de la hidrogeología, planteando proyectos de desarrollo basados en el correcto aprovechamiento y uso racional del agua, así como, garantizando el abastecimiento de diferentes regiones con sus distintas actividades socioeconómicas.

El área de estudio se ubica al sureste de la ciudad de San Miguel de Tucumán, dentro de los Departamentos de Cruz Alta y Leales.

Sobre esta área existen numerosos estudios de investigación cuyo alcance son más bien, de características regionales. En este trabajo se pretende realizar un enfoque local, sobre las características hidrogeológicas de la zona, además de cumplir con el objetivo principal de recibir el título de Geólogo que otorga la Universidad de Ciencias Naturales

Resumen

El presente trabajo se encuentra enmarcado regionalmente por los siguientes límites geográficos: en el NW 26°53'6.75"S-64°56'50.35"O; en el NE 26°53'22.57"S-64°44'24.67"O; en el SW 27°10'45.33"S-64°56'22.16"O y en el SE 27° 8'24.45"S- 64°48'23.95"O, conforman un área que ocupa aproximadamente 550 km² dentro del departamento de Cruz Alta y Leales.

Los departamentos de Cruz Alta y Leales, con una superficie aproximada de 800 Km², se ubican en la zona centro-este de la provincia de Tucumán.

Se accede al área a través de la ruta provincial N° 303, de orientación este-oeste, que comunica la ciudad capital con las localidades de Los Ralos y Las cejas en territorio tucumano y Pozo Hondo por Santiago del Estero.

La región se encuentra en el ambiente hidrogeológico de llanura tucumano- santiagueña caracterizada por sedimentación aluvial y de materiales clásticos medios a gruesos, provenientes de los ríos principales que bajan de las Sierras del Aconquija, Cumbres Calchaquies y Sierra de La Ramada.

Este trabajo se desarrolló en varias etapas comenzando por la recopilación de datos y bibliografía preexistentes, con salidas al campo para complementar relevamiento y reconocimiento geológico general (principales unidades litológicas afloradas y su importancia, dentro de la cuenca hidrogeológica). Se realizó un censo de pozos en toda la zona para obtener datos de niveles y caudales y con información complementaria en gabinete, respaldada por imágenes radar, se confeccionó el mapa hidrogeológico. En base a datos de precipitaciones y temperaturas obtenidos de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (E.E.A.O.C., 2016) y utilizando las clasificaciones de Köppen y Thornthwaite, se procedió a caracterizar climáticamente la zona.

En campo se utilizó el método geoeléctrico (S.E.V.). Se procesó la información en forma cuali-cuantitativa mediante el empleo de programas de interpretación automática (Ipi2win) para el dispositivo de Schlumberger, obteniéndose como resultado final las salidas computacionales que brindan estos programas.

Con estas informaciones y en gabinete, se elaboraron cortes y perfiles geoeléctricos, que muestran en profundidad la distribución de los valores de resistividad. Analizando estos datos podemos determinar las zonas más permeables que tienen mayor probabilidad de almacenar el agua.

Se utilizó antecedente de análisis químicos (parámetros físico-químicos como: contenido de iones mayoritarios y las variables físicas, temperatura, conductividad, alcalinidad), para analizar la composición química de las aguas, como complemento de la información del subsuelo.

Agradecimientos

A Sissi mi ovejera, me acompaño durante toda la carrera desvelándose en cada apunte en cada examen y plano, a mi familia que me sostiene, me eleva, alentándome cálidamente en cada intento de abandono, Tío , Myri ,Mica, Analí, Mike . gracias totales por ser incondicionales,

A mis amigos porque son el refugio de mi bienestar, María Molina mi persona favorita amiga del alma, Romina, Anyi, Ali, Sabri,,Nico , amigos del gym.

Compañeras de facultad y amigos queridos: Mochis, July, Ángela, Lore, Magui súper ,Carlita, Ceci, Eva,,Anita, Alex Elias ,Flaco Fede , loco Amin Escudero ,Paolo, Dieguin, Ramero, Sugero, Pelao, Fer fotocopia, Rata querido,

Agradecimiento muy especial a quien fue mi jefe en Recursos Hídricos, geol. Adrián Ruiz por brindar información, pero sobre todo por enseñarme la responsabilidad del trabajo. Al geólogo Mario Colqui de la DPA, quien sin conocerme me brindo abiertamente información. Al Dr. A.Tineo por algunas explicaciones.

Agradecimiento a mi director doc. Carlos García y codirector geólogo Carlos D'urso que han sido el pilar en este tramo final que tanto me costó, eternamente agradecida por la infinita paciencia.

A la Geol: Graciela Rodríguez y Dr. Carlos Falcón por el esmero de revisar hoja por hoja y la enseñanza en cada revisión.

A mi hijo no nacido a quien prometí recibirme, besos al cielo.

A la música: Charly, las pelotas, la renga por la compañía.

A todos los profes de la Facultad, hermosa comunidad de la cual si tenemos suerte y constancia salimos egresados a desarrollar una vida por ahí afuera, pero nunca nunca se olvida...GRACIAS LILLO!!!!

CAPITULO I

INTRODUCCION

1- INTRODUCCION

La Hidrogeología es aprovechada como herramienta principal, junto con otras disciplinas para la elaboración del presente trabajo de seminario, siendo de gran beneficio para caracterizar hidrogeológicamente diferentes zonas.

El área de estudio se ubica hacia el este del departamento de Cruz Alta, provincia de Tucumán, República Argentina, dentro de la cuenca del Río Salí, ocupando parte de la llanura tucumano-santiagueña caracterizada por su gran extensión que nace en el piedemonte de las sierras (Aconquija, y de La Ramada) y Cumbres Calchaquíes, donde se encuentran niveles permeables que permiten la infiltración del agua precipitada en la cuenca, conformando la zona de recarga de acuíferos. Las precipitaciones y la geología desempeñan un papel primordial en la generación de los recursos de aguas subterráneas en la región, Este recurso constituye una alternativa importante para complementar el abastecimiento de agua superficial que se encuentra severamente limitado por diferentes factores, entre los cuales se encuentra la marcada estacionalidad de las lluvias.

La zona tiene un clima templado a semi-árido con temperaturas medias anuales varían entre los 10°C y 26°C, con una marcada amplitud térmica estacional, con mínimas de 2°C en el invierno y máximas de 38°C en el verano. (Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación y EVARSA, 2000)

1.1 Objetivos

El propósito primordial de la realización de este trabajo como tesis de grado, es exponerlo en la facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo para obtener el título de Geóloga otorgado por la Universidad Nacional de Tucumán.

Objetivos Generales

- Se escogió estratégicamente la zona con el fin de singularizar y caracterizar hidrogeológicamente el área que se trabajó mediante análisis multidisciplinario de geología, posibilitando el conocimiento de la distribución, comportamiento y clasificación del flujo de aguas profundas.
- Se busca brindar información detallada pudiendo ser utilizada en el futuro con trabajos similares en zonas vecinas como así para la conclusión de un modelo de recurso hídrico. La información que presenta éste trabajo puede ser empleada por entidades gubernamentales, particulares privadas como estatales o por quién la requiera.

Objetivos Específicos.

- Realizar un estudio geoeléctrico del subsuelo del área, mediante el empleo de sondeos geofísicos, para definir ubicación y continuidad de las capas geológicas del subsuelo hasta una profundidad estimada de 250-300 m.

- Interpretar los resultados de los análisis fisicoquímicos antecedentes, mediante el uso de diagramas hidroquímicos específicos que permitirán clasificar las aguas de la zona y conocer su estado evolutivo.
- Determinar la calidad del agua subterránea con el fin de definir su aptitud para consumo humano y para uso agropecuario (riego de cultivos y bebida de ganado) por medio de la aplicación de índices correspondientes.
- Elaborar un mapa del agua subterránea basándonos en información del subsuelo.
- Comprender cómo se distribuyen y comportan las aguas subterráneas en la región, lo que posibilitará recomendar su explotación racional, económica y sustentable, al mismo tiempo que posibilitará establecer pautas y estrategias para fomentar el desarrollo rural y turístico de la zona.
-

1-2 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

1.2.1 Trabajo De Gabinete

- Para la realización del presente seminario se investigó diferentes trabajos que abarquen temas geográficos, climáticos, geológicos, geomorfológicos hidrogeológicos e hidroquímicos.
- Se realizó también la interpretación de imágenes radares de 1:100.000 y 1:250.000 (Instituto Geomorfológico Militar, 1998) (SPOT, LANDSAT) también se buscó extrapolar imágenes con el servidor Google Earth para actualizar información y completar datos ausentes, para la realización de un mapa base de la zona estudiada.
- Con los datos climáticos, que fueron aportados por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, 2016, se realizó el cálculo balance hídrico para conocer aproximadamente la infiltración de la cuenca.
- Se analizaron los datos de las perforaciones existentes en el área, con detalles de profundidades, litologías, niveles y caudales, para confeccionar el mapa hidrogeológicos del área.
- Se elaboraron las conclusiones que acompañan al informe final del seminario.

1.2.2 Tareas De Campo

- Las unidades cartografiadas se comprobaron en las salidas de campo.
- Se ubicaron los puntos de aguas seleccionadas mediante posicionamiento satelital (GPS). Fue realizado un censo de perforaciones donde se midieron los niveles piezométricos de los pozos y algunas pruebas de bombeo, (anexo)
- Se realizaron sondeos geofísicos (SEV) mediante el dispositivo Schlumberger, con un distanciamiento de AB/2 de 500 m de apertura. Se utilizó datos hidroquímicos de la zona ya existentes.

1-3 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

La zona de estudio se ubica a 50 km de la ciudad de San Miguel de Tucumán por el principal acceso: ruta provincial N°303, dentro del Departamento Cruz Alta.

El citado departamento se encuentra en el sector centro-este de la provincia de Tucumán, abarcando una superficie aproximada de 800 Km², entre el río Salí y la Sierra de Medina por el oeste, el límite interprovincial con Santiago del Estero por el este, el departamento Burruyacú por el norte y el departamento Leales por el sur.

El área de trabajo se ubica en la parte este de Cruz Alta, con una superficie aproximada de 550 Km² y una forma de trapezoide rectangular que se extiende desde localidades de Lolita por el noroeste hacia Las Cejas por el noreste y desde Cañadas de Viclos por el sudoeste hasta Tacanas por el sudeste, siendo sus límites geográficos los siguientes puntos:

NW 26°53'6.75"S-64°56'50.35"O;

NE 26°53'22.57"S-64°44'24.67"O;

SW 27°10'45.33"S-64°56'22.16"O y

SE 27° 8'24.45"S- 64°48'23.95"O.

Se accede al área principalmente a través de la ruta provincial N° 303, de orientación este-oeste, que comunica la ciudad capital con las localidades de Los Ralos, Cañete y Las cejas en territorio tucumano y Pozo Hondo en Santiago del Estero,

Otro acceso alternativo lo constituye la ruta provincial N° 302, de orientación NW-SE, que comunica la capital tucumana con las localidades de Cruz Alta, como Ranchillos, Árbol Solo, Estación Aráoz y Tacanas, en el límite con Santiago del Estero.

También se puede circular y acceder dentro de la zona de trabajo por la ruta nacional N° 327 de orientación norte-sur comunica las localidades de Cañete, Los Pereyra, Estación Araoz, Tusquita, hasta intersectar con la ruta Nacional N° 9 (observa Fig.2 Mapa base del área de estudio), dicha intersección coincide exactamente con el límite geográfico NW de la zona, siendo el cuarto acceso posible desde la ruta N°9 , por el sur de la zona estudiada.

Dentro del área de trabajo existen caminos sin pavimentar utilizados como accesos a las distintas fincas existentes (25 aproximadamente en total), algunos de estos se encuentran en buen estado, otros en muy malas condiciones siendo dificultosa su transitabilidad gran parte del año.

Fig1- Imagen de Radar de la zona y alrededores

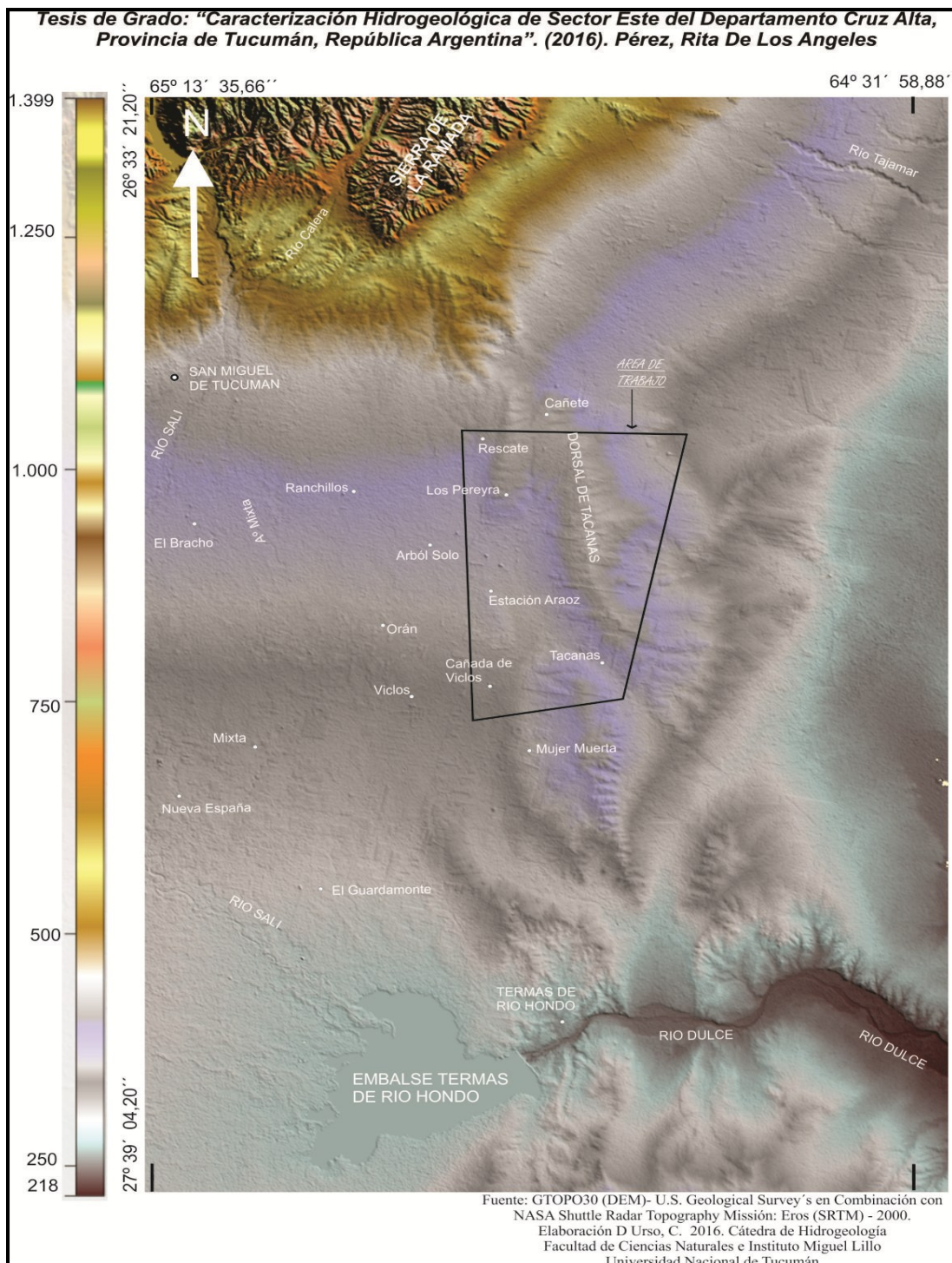
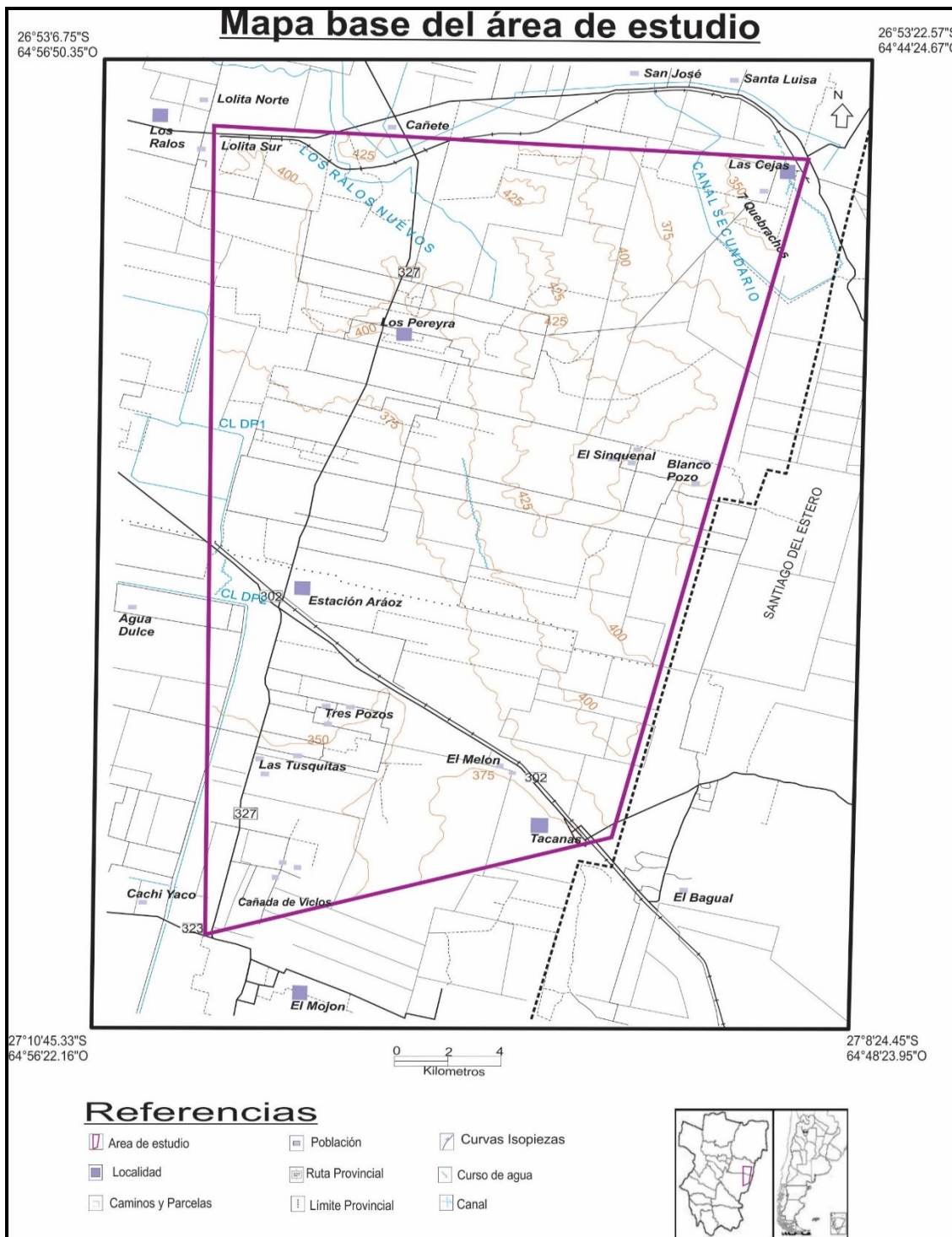


Fig.2 Mapa Base del Área de Estudio. (Rita Pérez)



CAPITULO II

GEOGRAFÍA

2 -INTRODUCCION

La geografía de La provincia de Tucumán tiene una ubicación central dentro del conjunto de regiones del noroeste Argentino, según Santillán de Andrés .S.E. y Teodoro R. Ricci. , ésta provincia es la más antigua y mejor cohesionada de la Argentina.

Los primeros registros de habitantes originarios de este territorio. Diaguitas, Tonocotés y Lules, formaban diferentes organizaciones sociopolíticas, pero cabe destacar que las más experimentadas en cuanto al aprovechamiento hidrogeológicas, fueron las organizaciones de los Tonocotés, ya que se asentaron entre los ríos Marapa y Colorado, aprovechando ciclos de inundaciones anuales de los ríos locales para realizar cultivos en tierras fértiles y húmedas.

2-1 OROGRAFIA

En la provincia de Tucumán, se pueden encontrar las siguientes unidades de relieves: las sierras centrales, las sierras occidentales, las sierras nororientales, los valles, los pedemontes y las llanuras siendo ésta última la más importante dentro del presente trabajo. Cada una de ellas ha sido transformada en menor o mayor grado por el hombre a lo largo del tiempo.

Las zonas montañosas se encuentran en la provincia de Tucumán hacia el oeste, norte y parte central, con sus respectivos valles intermontanos, estos son paisajes pocos transformados por la poca interacción del hombre

El pedemonte está más aprovechado para campos de cultivos y huertas, el este de la provincia, Sayago et.al., 1998, se encuentra dominada por llanuras onduladas en la parte norte y aluviales hacia el sur. Son paisajes muy transformados antrópicamente, debido a la concentración de las ciudades y pueblos pequeños.

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro del marco de la extensa llanura oriental, la cual ocupa una franja en forma de trapecioide en el sector este de la provincia de Tucumán, desde las sierras de Aconquija hasta límites con la provincia de Santiago del Estero. (Tineo, A. et al., 2005).

Las dos unidades morfoestructurales que definen la provincia son:

Las sierras pampeanas

Ocupan un 37% del porcentaje en relieve , se encuentran caracterizadas por un basamento metamórfico de comportamiento rígido afectado por importantes intrusiones graníticas y extensas zonas de migmatización (Mon, R. 1976)

Están integradas por Sierras Occidentales: nevados del Aconquija y las Cumbres Calchaquíes y por las Sierras centrales: hacia la oeste sierra de Totorá, cumbre de Taco Yaco, Cumbre de Cabra Horco, Cumbre del Siambón, Cumbre de Periquillo, Cumbre de Mala Mala, Cumbres de Tafí, hacia el este Serranías de San Javier y Taficillo y hacia el Sur Cerro Ñuñorco Grande y Cerro Ñuñorco Chico.

Las sierras Subandinas

Ocupan 6% de relieve, incluye el contexto geográfico de las Sierras del Noroeste o Sierras de Burruyacú (S. Andrés et.al., 1967).

Están integradas por Sierras de Medina, del Campo, del Nogalito y de La Ramada, se encuentran alineadas y paralelas en sentido aproximado norte –sur.

La Sierra de la Ramada y Sierra del Campo: tienen una orientación NNE-SSW y altitudes máximas de 1.160 y 2.000 m.s.n.m., encontrándose desplazadas una respecto de la otra por una falla diagonal de rumbo NNW-SSE, por donde discurre el río Tajamar o Cajón.

Adosadas a ellas, entre los 500-700 m.s.n.m., se desarrollan lomadas achatadas con núcleo terciario y cubierta moderna, por debajo de los 400 m.s.n.m. y con una suave pendiente al este se desarrolla la llanura de Burruyacú, caracterizada por la presencia de suelos limo-loésico (García, J., et al; 2014) siendo ésta la probable fuente de aporte de la zona de trabajo .

Los Valles

En la provincia, se encuentran limitados por sierras y montañas atravesados por importantes cursos de agua, con suelos profundos y fértiles, donde generalmente se encuentra el desarrollo de vegetación natural con sus respectivas faunas.

Entre los valles más importantes se puede nombrar, Valle de Tafí, Valle de Tapia Trancas, Valle de Raco, Valles Calchaquíes, Valle El Siambón, en general están rellenos por sedimentos terciarios y cuaternarios. Se caracterizan por la belleza de sus paisajes por lo que son aprovechados para desarrollo turístico.

El pedemonte

Está constituido por sedimentos terciarios detríticos y cuaternarios en abanicos aluviales y glacis. Se caracteriza por tener suaves ondulaciones y estar atravesados por ríos y arroyos que generalmente descienden desde las cumbres en dirección O-E, hacia el principal afluente: Río Salí.

La Llanura

En la provincia se presenta con una leve pendiente de oeste a este en dirección al embalse Río Hondo, en donde desembocan las aguas de principales ríos y sus afluentes .Existen dos grandes llanuras que ocupan más de la mitad de la superficie total del territorio provincial, se diferencian por la calidad de suelos, vegetación, clima y sobre todo por el asentamiento poblacional, pero la principal diferencia al clasificarlas en Ondulada y Aluvial en su estudio, Sayago J.M. et.al.(1998), fue precisamente el relieve .

En esta zona, el dominio estructural profundo, acompañados por fuertes periodos de humedad durante el holoceno, derivaron en el cambio de orientación del Río Salí, que actualmente circula de norte a sur y el río Tajamar que actualmente fluye por el Pie de la Sierra La Ramada, en sentido noroeste-sureste.

La dorsal de Tacanas - Cañete, conforman una serie de lomadas, de escasa expresión en superficie. Las Imágenes de radar tienen la ventaja de caracterizar mejor el relieve, destacar lineamientos y estructuras semienterradas, que en las imágenes satelitales no pueden observarse a simple vista. En la Figura 1, puede apreciarse este conjunto de estructuras Terciarias, cuya orientación es noroeste-sureste, y que claramente marca una línea divisoria que delimita la Región Hidrogeológica de Burruyacú, de la Región Hidrogeológica del Valle del Río Salí, (García et al, 2014, In Geología de Tucumán)

Llanura ondulada: se ubica en la parte noreste de la provincia, formada por niveles aterrazados de suaves pendientes que se encuentran interrumpidos por suaves lomadas, evidenciando un control del pre-relieve terciario sobre los depósitos más modernos de cuaternario. (Falcón, C., 2004)

Llanura Aluvial: se extienden aproximadamente de 500 a 275 m.s.n.m., hacia el este continuando a la provincia de Santiago de Estero y al oeste limita con llanura ondulada, presenta numerosos cauces, zonas de anegamiento estacional meandros abandonados, lagunas, paleocauces; lo que también sugieren condiciones climáticas muy distintas en el pasado.

2.2 -HIDROGRAFIA

Los ríos de Tucumán son caudalosos y sus aguas circulan a gran velocidad entre altas barrancas desde sus nacimientos, arrastrando en épocas lluvias, grandes bloques de gravas, arenas, limos y en algunos casos llegan a desbordar provocando grandes inundaciones; en general descienden por las laderas y corren en dirección O-E siguiendo la leve declinación de la llanura Tucumana, son alimentados por abundantes precipitaciones y deshielos.

La provincia, al occidente está limitada por los cordones montañosos de Cumbres Calchaquies y Sierras del Aconquija, con altitudes que superan los 5.000 m.s.n.m. cuya particular disposición geográfica determina la formación de una densa red de ríos y arroyos en la extensa llanura aluvial que se desarrolla al oriente de los mismos (García, J., et al; 2014)

Según Santillán la red de drenaje es la más jerarquizada dentro del noroeste argentino por las condiciones geomorfológicas y la humedad, procedente del océano Atlántico Sur.

El Río Salí es el único colector de la red hidrográfica de la provincia, la dirección norte-sur que recorre a lo largo de la provincia convierte a los demás cursos de agua que corren de oeste a este en sus afluentes; tiene su nacimiento en la provincia de Salta donde se denomina Río El Brete, el sentido de este es de oeste a este justamente delimitando ambas provincias.

Luego cambia de recorrido tomando la orientación n-s, al ingresar a nuestra provincia por el área hidrogeológica Tapia Trancas recorriendo a lo largo del territorio tucumano por casi 180 km; antes de ingresar en provincia de Santiago del Estero, cambia nuevamente la orientación, dirigiéndose al sureste con el nombre de Río Hondo.

- ❖ El Río Salí presenta diferentes características durante su curso en la parte occidental:

Tramo superior: en la cuenca Tapia-Trancas recibe gran cantidad de afluentes principales como: Río Acequiones, Río Choromoro, Río Vipos y Río Trancas, además se pueden encontrar cauces de arroyos secos que son alimentados durante el verano.

Tramo medio: zona en la que participan ríos que descienden por valles elongados, como San Javier, entre otros, formando en los pedemontes algunos abanicos aluviales.

Tiene afluentes principales como: Río Lules, Río Colorado, Río Caspichango, Río Famaillá, Río Los Sosas, Río de las Cañas, Río Horcones y Río Balderrama. Llegando al tramo medio inferior el río se torna meandrosos anastomosado al disminuir su velocidad. Los afluentes son también nacientes de zonas serranas, además de ríos, existen arroyos de importantes caudales, que transportan sedimentos de distintas granulometrías.

Tramo inferior o sur: las lluvias en esta zona son escasas por lo que son ríos de menor caudal. Algunos de los principales afluentes son los Ríos Seco, Gastona, Chico, Medina, Marapa, San Francisco y San Ignacio y el Arroyo Matazambi.

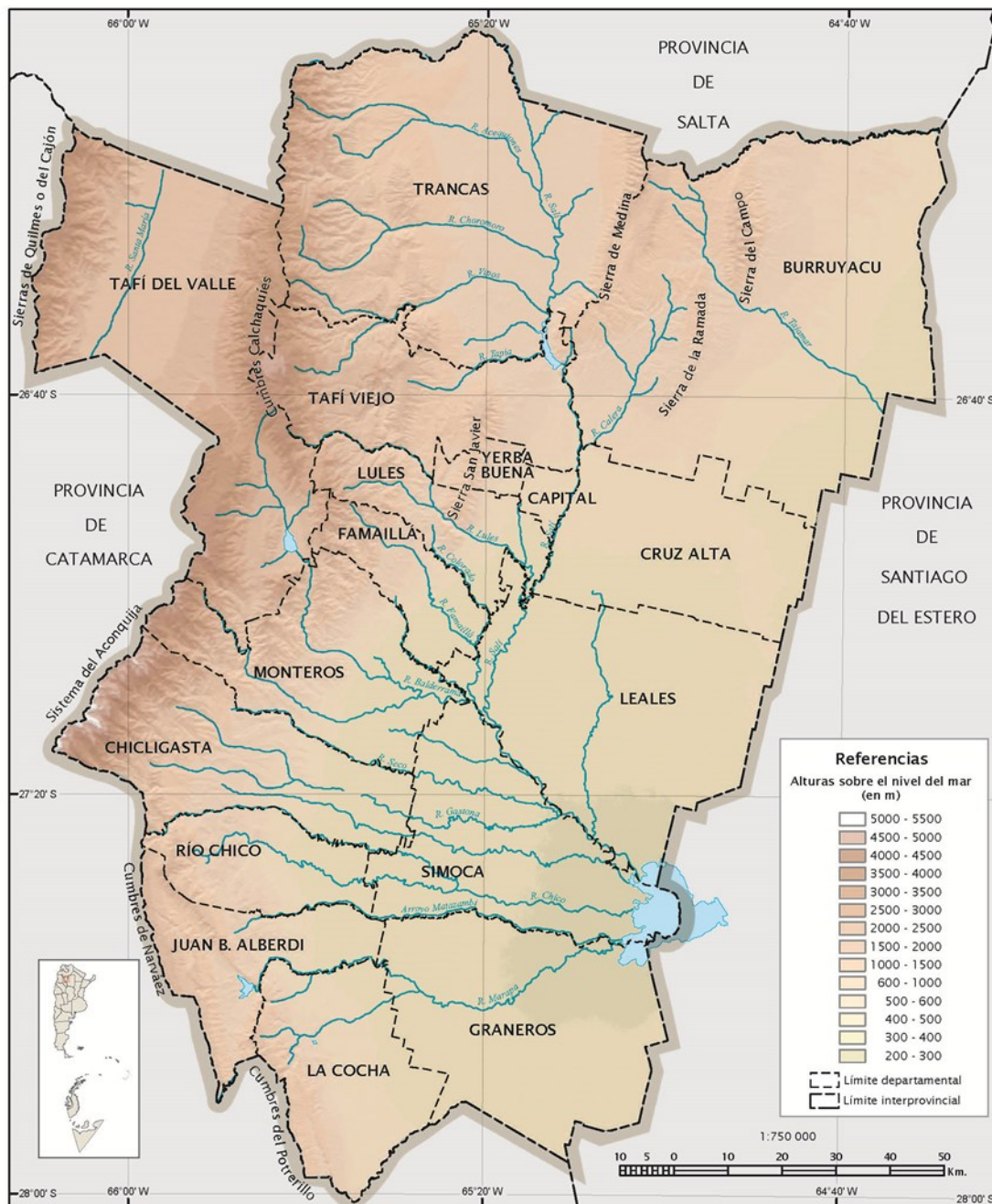
- ❖ El Río Salí presenta diferentes características durante su curso en la parte Oriental, son escasos los afluentes.

Tramo superior: como afluentes se encuentran el Río Medina, escurre por un valle tectónico elongado, con dirección n-no, el cual es más caudalosos en épocas lluviosas. En la zona serrana se le une el Río Calera como principal afluente.

Tramo medio: la zona se caracteriza por la carencia de cursos superficiales de agua excepto arroyos pequeños como A° Los Gómez y A° Mixta.

- ❖ En la provincia de Tucumán se destaca la presencia de Diques de Embalses, utilizados por ejemplo para riego, fines turísticos y como provisión de agua tratada para beber. Los de mayor importancia son: Dique de Embalse El Cadillal, sobre el curso superior del río Salí; el Dique de Embalse La Angostura emplazado en el Valle de Tafí, y Dique de Embalse de Escaba sobre el curso del río Marapa.

Fig. 3: Mapa Hidrográfico, extraído de la página oficial del Gobierno de Tucumán



2.3- FLORA Y FAUNA

El desarrollo de la vegetación natural y las especies animales depende de ciertas condiciones también naturales como: la geomorfología, las precipitaciones, la humedad del ambiente y la temperatura. En la provincia de Tucumán se pueden distinguir distintas regiones fitogeográficas, de acuerdo a la temperatura, la humedad y la altura, podemos encontrar:

Prados de poca altura: montañas superan los 2000 m.s.n.m, los bosques comienzan a desaparecer y el suelo es cubierto durante el verano por prados de altura que consisten en pastizales verdes y tiernos que sirven para alimentación del ganado que se cría en ésta zona. Algunas de las especies animales características son: zorros, zorrinos, aves rapaces, víboras, iguanas, lagartijas, pumas y conejos.

Cuando la altura es superior aproximadamente a los 4000 m.s.n.m el clima se vuelve cada vez más frío y es reemplazada la biota por hierbas y pastos duros, plantas de poco tamaño que crecen entre piedras con largas raíces para no ser arrancadas por los fuertes vientos. El animal característico es el guanaco.

Bosques de Los Alisos: característicos de lugares con elevadas alturas que oscilan entre 1200 y 2800 m.s.n.m. Son árboles de aproximadamente 15 metros de altura y se ubican en una franja de las sierras centrales departamento de Chichigasta.

La selva Tucumano –Boliviana o Yungas, también denominada por Miguel Lillo como “bosques subtropicales”, se encuentra ubicada desde faldeos de las sierras del Aconquija hasta la llanura, actualmente ocupa el área baja y media del río Salí siendo un importante factor para áreas de infiltración, captación y regulación de flujo hídrico.

La fauna es exuberante: viven pumas, zorros, comadrejas, carpinchos, gatos monteses, murciélagos, en las vegetaciones bajas habitan gran variedad de insectos, ranas y reptiles; las aves son diversas también de presas o rapaces, loros, palomas, lechuzas y colibríes.

Monte chaqueño: el área estudiada, se encuentra ocupada por éste tipo de vegetación en las zonas donde no hay cultivos. Ésta formación se desarrolla en suelos aluviales, con poca pendiente y una influencia de clima continental caliente (escasas lluvias y altas temperaturas), las especies vegetales características son árboles de poca altura y follaje, algunos de hojas muy duras y abundantes espinas. Las más características son: Tala, Tuna, sombra de toro, Algarrobo blanco y negro, mistol, quebrachos blancos y colorados, el espinillo y el chañar y la tusca.

Las especies animales también son muchas como: vizcacha, comadreja, iguana, caraguay, quirquincho, zorro, y distintas clases de víboras; aves como teros, lechuzas, halcones y horneros.

- ❖ Como ocurrió en la mayor parte del país, los paisajes han sido modificados por las distintas actividades que realiza el hombre, perdiendo gran cantidad de especies vegetales y animales y algunas, hoy en riesgo de extinción. En las últimas décadas gran parte del bosque chaqueño fue talado para diferentes cultivos de soja y poroto y otros granos, también para el uso de la madera.
- ❖ Hay que destacar que en la provincia de Tucumán existen zonas de muchas hectáreas protegidas bajo leyes para mantener el equilibrio del ecosistema y evitar contaminación de las aguas. Algunos ejemplos: Parque Nacional Campo de los Alisos (se encarga el gobierno nacional); Parque Sierra de San Javier (se encarga la UNT) muchos alumnos de nuestra facultad trabajan en áreas experimentales realizando docencia e investigación en ésta reserva;

Reserva Provincial de Flora y Fauna de la Florida; Reserva Natural de Santa Ana ; Reserva La Sosa y área protegida de Agua Chiquita en las cercanías del dique El Cadillal.

Fig 4 - Ejemplo del relieve presente en la zona y fauna característica



2.4 POBLACIÓN

El territorio tucumano tiene, según el último censo Nacional realizado en el año 2010, más de un millón de habitantes concentrados en las ciudades aproximadamente el 80% y el 20% restante en zonas rurales. La mayor concentración se encuentra en la zona llana central: San Miguel de Tucumán, llamado conglomerado urbano y sus alrededores.

Para el cálculo de la densidad de población se realiza la división del número de habitantes por la superficie (en Km²) la observación de los datos que tienen cada departamento muestra una desigualdad en cuanto a la densidad, aun así los siguientes datos convierten a la provincia de Tucumán en la más densamente poblada dentro del país.

La provincia de Tucumán se encuentra dividida en diecisiete departamentos, con diferentes superficies, cantidad de habitantes y densidad de población.

Tabla 1-Datos poblacionales por departamentos

Departamento	Población Total	Superficie en km ²	Densidad de población(hab./km ²)
Burruyacú	36.512	3.605	10,1
Capital	549.163	90	6.101,8

Cruz Alta	80.584	1.255	63,6
Chicligasta	181.851	1.267	144,9
Famailá	33.487	427	78,4
Graneros	13.628	1.678	8,1
Juan B.Alberdi	30.095	730	41,2
La Cocha	18.955	917	20,7
Leales	54.644	2.027	27,0
Lules	68.151	540	126,2
Monteros	63.926	1.169	54,7
Río Chico	55.587	585	95,0
Simoca	32.065	1.261	25,4
Tafí del Valle	15.035	2.741	5,5
Tafí Viejo	122.752	1.210	101,4
Trancas	17.541	2.862	6,1
Yerba Buena	74.224	160	463,9
TOTAL	1.448.200	22.524	64,3

2.5- CLIMA

Etimológicamente la palabra clima proviene del griego (klima) significa inclinación del sol por extensión de latitud.

En la provincia de Tucumán el clima es subtropical con estación seca en invierno.

Por la situación geográfica y por la morfología dominante, el clima de la provincia de Tucumán ofrece características distintivas generales y comunes con el sector centro –norte de la República Argentina (Andrés .S.E. y Teodoro R. Ricci, 1980)

Para realizar un trabajo hidrológico de una región es imprescindible el estudio y análisis del clima y la combinación de factores que condicionan al mismo:

Factores climáticos: temperatura, la presión atmosférica, la humedad, las lluvias y vientos.

Factores geográficos: relieve, posición geográfica latitudinal más aún la cercanía al mar, variaciones altimétricas, influyen en el clima del lugar.

2.5.1-Vientos

La provincia de Tucumán se encuentra al N del paralelo 40°Lat. S.(franja entre los 26° y 28°) es una zona cálida del país y alejada del mar por lo que no serán tan influyentes las corrientes húmedas que allí se generan sin embargo se debe tener en cuenta dos masas de aire :

Vientos provenientes del anticiclón Pacífico Sur se mezclan y son desviados por vientos del ciclón formado en el norte Argentino en la isoterma 30°C en estaciones cálidas .ambas masas de aire (secas y frías) al pasar por los cordones cordilleranos sur pierden toda la humedad, recuperan parte de esta, cuando son influenciados por aires del mar ártico .

Vientos provenientes del anticiclón atlántico Sur con dirección N-S al ingresar al país luego cambian hacia el SE, en nuestra provincia son obligados a descender por sistemas serranos cargados con bastante humedad llamados vientos alisos, ocasionando condensación seguida de precipitaciones en meses de estación cálida.

2.5.2- Temperatura

Como ya se explicó anteriormente la provincia se ubica dentro de una franja de clima cálido, aun así, la temperatura y condiciones de humedad, sufren variaciones según las estaciones del año y otros factores como la altimetría.

Según (Andrés.S.E. y Teodoro R. Ricci, 1980), en las regiones montañosas y valles intermontanos, las temperaturas medias en enero oscilan entre 20° y 12°C durante el día descienden hasta los 8°C a 4°C, en zonas de hasta 2.500 m.s.n.m.

La temperatura media de julio es de 8° a 0°, hay que destacar que, existe una alta amplitud térmica en zonas montañosas y serranas más aún en invierno, debido a menores nubosidades. el sistema serrano del nordeste, al tener menor altura aumenta unos pocos grados en relación con las sierras del Aconquija o Cumbres Calchaquies.

La llanura tucumana soporta diferentes temperaturas medias, en verano son del orden de 26°C a 28°C pero alcanzan los 40°C y 45°C en días muy calurosos, sobre todo cuando la afluencia del Atlántico Sur es muy lenta. En invierno se registran temperaturas medias de 10°C y 12°C, pero pueden llegar a temperaturas bajo cero.

Para concluir, las temperaturas máximas se encuentran registradas en el este y sudeste de la provincia y las más bajas en la parte montañosa oeste. Diferentes entidades cuentan con estos registros, como, por ejemplo: Recursos Hídricos, La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres y EVARSA, es difícil tener un registro continuo de las diferentes mediciones muchas veces se deben a fallas técnicas de los aparatos y lugares inaccesibles o muy alejados.

2.5.3 -Precipitaciones

El clima pasa por períodos estacionales. En nuestra provincia los inviernos y primaveras son secos, y los otoños y veranos muy húmedos con abundantes precipitaciones; época donde crecen los caudales de los ríos.

La intensidad de las lluvias disminuye de oeste a este. Las precipitaciones son determinadas por el régimen de vientos dominante en cada zona y por la influencia orográfica según las alturas sobre el nivel del mar, actuando como efecto sombra de lluvia.

La distribución de las lluvias en la provincia se divide por franjas o zonas

Zona oeste, parte montañosa, las precipitaciones son escasas, el promedio anual no supera los 500mm. En las laderas de las sierras los vientos son secos de manera casi permanente por lo que disminuye el promedio de precipitaciones anuales a 250 mm.

Zona pedemontana: son abundantes las lluvias en meses de otoño y verano, por esa razón el suelo es muy fértil, los promedios anuales alcanzan y superan los 1000 mm llegando a registrarse 2000 mm promedio en cercanías de la localidad de Concepción.

La zona de llanura central las precipitaciones son abundantes aunque menores que en los pedemontes, el promedio anual puede variar entre 800 y 900 mm anuales, salvo excepciones de algunos años que durante épocas de verano llegó a superar ampliamente éste promedio debido a algún fenómeno climático, produciendo grandes inundaciones.

Zona este de la llanura: escasas lluvias no superan promedios de 500 mm anuales debido a su ubicación geográfica, ausencia total de sierras, montañas y cursos fluviales concentrados solo en la confluencia del embalse Río Hondo. A lo largo de ésta franja el cultivo solo se desarrolla bajo condiciones de riego.

[illegible]

CAPITULO III

GEOLOGÍA

3.1. -INTRODUCCIÓN

En la llanura aluvial dentro de la cual se encuentra la zona de estudio solo afloran niveles cuaternarios cubriendo la totalidad del área.

Sin embargo es necesario realizar una descripción de la geología de la cuenca, para comprender el marco de la geología regional y de las zonas de aportes de éstos sedimentos cuaternarios aluviales y fluviales.

Dichas observaciones se realizaron en diferentes salidas al campo, constatando la presencia única de sedimento cuaternario, en la zona de trabajo. (Fig7.) Estos sedimentos provienen de la erosión de las formaciones circundantes que afloran fuera del área de estudio.

En cuadro estratigráfico (Fig.6) se describen todas las formaciones que constituyen la columna estratigráfica, tanto los sedimentos cuaternarios que se encuentra en la zona de trabajo, como las secuencias erosionadas.

Cronológicamente la secuencia se inicia con el período Precámbrico Superior- Cámbrico Inferior constituido por unidades de basamento metamórfico. Luego de un período de no depositación y apoyada en discordancia se asienta la cubierta sedimentaria de edad Terciaria.

La Formación La Yesera perteneciente al Sub Grupo Pirgua del Cretácico inferior; son sedimentitas clásticas compuestas por brechas, conglomerados brechosos y areniscas conglomerádicas. En discordancia se apoya, la Formación Río Loro con una litología de areniscas, diacmititas y limolitas arenosas del Paleoceno superior- Eoceno inferior, posteriormente se desarrolla la Formación Río Nío perteneciente al Eoceno medio, compuesta por pelitas rojas oscuras.

El Mioceno y Plioceno se encuentran representados por el Grupo Choromoro en discordancia con la formación anterior, de base a techo se encuentran las Formaciones: Río Salí (margas y bancos de toba con intercalaciones de yeso) e India Muerta (areniscas gruesas gradando a finas).

Por último se encuentran importantes acumulaciones del Cuaternario tanto en valles como en la gran llanura Tucumana (zona de estudio), también se pueden diferenciar varios niveles representados por Loess retrabajados, depósitos de paleosuelos, gravas y arenas con niveles de arcilla, que son depósitos fluviales y de abanicos.

Fig.6 Cuadro Estratigráfico

CUATERNARIO	HOLOCENO	NIVELES CUATERNARIOS			Gravas, arenas y arcillas de depósitos modernos fluviales y de abanico.
	PLEISTOCENO	FORMACION TUCUMAN			Loess retrabajados, depósitos detríticos, paleosuelos
TERCIARIO	PLIOCENO MIOCENO SUPERIOR	GRUPO CHOROMORO	FORMACIÓN INDIA MUERTA		Areniscas gruesas gradando a finas grises, macizas y estratificadas.
	FORMACION RÍO SALÍ		Margas verdosas, margas yesíferas verdes, bancos de tobas e intercalaciones de yeso.		
	EOCENO	FORMACIÓN RÍO NIO			Pelitas rojas oscuras
	PALEOCENO SUPERIOR	FORMACION RÍO LORO			Areniscas, diacmititas y limolitas arenosas con nódulos de manganeso
MEZOSOICO	CRETÁCICO INFERIOR	Grupo Salta	Sub Grupo Pirgua	FORMACION LA YESERA	Brecha roja con matriz areno-limosa, intercalación de tobas y basaltos.
PALEOZOICO PROTEROZOICO	CÁMBRICO INFERIOR PRECÁMBRICO SUPERIOR	FORMACIÓN MEDINA y EQUIVALENTES REGIONALES			Basamento metamórfico

3.2- ESTRATIGRAFÍA

3.2.1 Precámbrico Superior– Cámbrico Inferior

Antecedentes: Los antecedentes históricos realizados por diversos autores entre ellos Burmeister (1876), Stelzner (1885), Keidel (1907,1910), Stappenbeck (1914), Rasmuss (1918), Peirano (1939), Turner (1960), Bossi (1969), Turner y Mon (1979), Aceñolaza (1987), Toselli y Rossi de Toselli (1990), asignaron a éste periodo, el desarrollo de basamento metamórfico correspondientes a núcleos de cordones montañosos de Tucumán y algunas provincias aledañas.

Willner y Miller (1985) dividieron el basamento metamórfico del noroeste argentino en seis zonas tectometamórficas. En nuestra provincia se pueden establecer dos de las zonas dentro de ésta clasificación, la número II es de bajo a muy bajo metamorfismo, engloba el NO de Cumbres Calchaquies y Sierra NE de Tucumán y la número V, en la cuál va aumentando progresivamente el metamorfismo llegando a facies de epidóticas y almandínicas presente en Sierras de Aconquija.

En su trabajo Mon (1972) describe un esquema estructural de la provincia de Tucumán, denominando dos unidades con diferentes comportamiento tectónico del basamento frente a las deformaciones : las **Sierras Pampeanas** con un comportamiento rígido e intensa deformación frente a un metamorfismo intenso formando bloques fallados y las **Sierras Subandinas** en zona de menor metamorfismo, que tuvo un comportamiento dúctil con deformaciones de plegamientos ,en ésta última unidad se ubica las Sierras del NE de Tucumán .

Mon (1988), bajo el concepto de unidades de Bajo Grado de metamorfismo enmarca como basamento de las provincias geológicas Cordillera Oriental y borde de Puna a las sierras del NE de Tucumán pero reconoce que se encuentra una franja llamada Franja de Aguas Blancas, la cual pertenece a una mayor deformación.

GRUPO PUNCOVISCANA

Está constituido por unidades de rocas metamórficas de bajo a alto grado que abarca desde facies de esquistos verdes a la de anfibolitas, las cuáles evolucionaron de sedimentos pelíticos arenosos, de origen marinos y son equivalentes entre sí, definida como Grupo Puncoviscana (Caminos, 1979), cada unidad representa una zona caracterizada por el predominio de un tipo litológico que evidencia la historia de deformación ocurrida durante las orogenias Pampeana, Famatiniana, Ándica y culminando con eventos geológico de intrusión de stocks graníticos durante el Carbonífero.

En la provincia de Tucumán pueden observarse afloramientos de basamento en las montañas que limitan al oeste de la llanura Tucumana (Sierras del Aconquija), se trata de esquistos cuarzosos y micáceos que alternan con filitas y esquistos migmatíticos y afloramientos de basamento de bajo grado en Sierras de San Javier y sierras del NE.

Peirano (1939) en su trabajo, hace mención de los mantos de basaltos de la Sierra La Ramada y en menor extensión en arroyo de Sauce Mayo, (Falcón, 2004 los estudia petrológicamente y geoquímicamente, y establece sus relaciones genéticas por primera vez, en el área de Sauce Mayo, Sierra de La Ramada) pero fueron definidos por Bossi (1969) (Bossi define la F. Medina en la sierra

homónima como compuestas por metamorfitas de bajo grado) A su vez, en la localidad de El Cadillal, define la F. El Cadillal como compuesta por brechas polimícticas, conglomerados, diques y filones de traquitas y basaltos que intruyen las anteriores litologías. La correlaciona con la sección basal de la F. La Yesera)

Toselli (1975) define la Formación San Javier, como unidad que constituye el núcleo de la Sierra homónima y queda restringida a la misma, y es equivalente de la Formación Medina.

No se puede determinar la potencia ya que es una unidad muy compleja estructuralmente y con base desconocida, Albornoz (1976) determina en Río de Tajamar una potencia de 1000 metros.

La edad del basamento se considera Precámbrico superior- Cámbrico inferior, debido al hallazgo del icnogénero *Oldhamia radiata* Forbes (Mirre y Aceñolaza, 1972).

FORMACION MEDINA (Bossi, 1969)

Composición Litológica: Formación definida por Bossi en el extremo austral de la Sierra de Medina, equivalente de la Formación Puncoviscana, de grado metamórfico bajo a muy bajo, constituido por metagrauvacas, pizarras, filitas que conservan rasgos texturales y mineralógicos sedimentarios. Las coloraciones presentes van de gris verdoso a rojizos. Se pueden observar niveles calcáreos interestratificados en Sierras del Campo y de la Ramada.

Se indicó la presencia de abundantes venas y lentes de cuarzo, distintos espesores atribuidos según (Lazarte, 1981) a procesos metamórficos, así como plagioclasa, muscovita y clorita; entre minerales accesorios se reconocieron epidoto, turmalina, apatita, circón y titanita.

Las estructuras presentes son: estratificación cruzada en bancos de arena y estructura tipo flaser, abundante laminación gruesa, facies de esquistos verdes (Toselli et.al.1975)

Afloramientos y áreas representativas:

Siendo la distribución areal de algunos afloramientos que limitan hacia el oeste con Cumbres Calchaquies y Sierras de Santa Bárbara y se encuentran en núcleos montañosos de Sierras de San Javier, de la Candelaria, de Medina, del Nogalito, del Campo y de la Ramada.

Los principales afloramientos se ubican en el sector noroccidental de las Cumbres Calchaquies, también en la franja montañosa del Siambón y en las Cumbres de Santa Bárbara. Asimismo en núcleos de Sierras de San Javier, de la Candelaria, del Nogalito, del Campo y de la Ramada, ubicadas en una franja montañosa de orientación noroeste-sureste.

3.2.2 Cretácico

Durante el cretácico los movimientos tectónicos afectaron regiones cratonizadas como la parte central de nuestro país creando depresiones donde se depositaron los detritos de las zonas más elevadas favoreciendo la formación del subgrupo Pirgua.

En el noroeste Argentino el Cretácico se encuentra representado por el Grupo Salta , definido por Brackebush (1891), posteriormente en 1970 es clasificado por Moreno en los Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara, Reyes y Salfity (1973) definen el subgrupo Pirgua como “Areniscas inferiores”, se pueden reconocer tres unidades dentro del mismo: Formación La Yesera, Formación Las Curtiembre y Formación Los Blanquitos.

Bossi (1969) asigna en Sierras de Medina al sector basal del subgrupo Pirgua con el nombre de Formación el Cadillal que sería el equivalente lateral de la formación La Yesera, pero posee en las areniscas conglomerádicas superiores numerosos rodados de vulcanitas, también aportes de basaltos y traquitas pertenecientes al Complejo Alto de las Salinas. El vulcanismo se habría desarrollado en una posición marginal a lo largo de la Dorsal Salto Jujeña y el Arco Pampeano (Reyes et. al, 1976).

(Falcón, 2004 estudia petrológicamente y geoquímicamente las manifestaciones volcánicas emplazadas en la sección basal de la Formación El Cadillal (equivalente estratigráfico de La Yesera) que ocurren en la sierra de La Ramada en el paraje conocido como Loma Chata, en el tramo inferior-medio del Arroyo Sauce Mayo. Establece sus relaciones genéticas y correlación con otros afloramientos de la misma edad en el Subandino Argentino.

FORMACION LA YESERA (Reyes y Salfity, 1973)

Composición Litológica: esta formación cretácica se encuentra integrada por conglomerados brechosos de tamaños finos a gruesos y algunos clastos de cuarcita y con rodados de basamento metamórfico integrados por filitas, pizarras y vetas de cuarzo. La coloración es variable de gris azulado a verdoso grisáceo oscuro. Presenta una matriz areno-limosa-ferruginosa de grano fino a medio, silicificadas y de coloración roja grisácea pálida.

Afloramientos y relaciones de campo

En las sierras de Medina la secuencia se caracteriza por ser de areniscas feldespáticas con rodados volcánicos y conglomerados de abajo hacia arriba,

En la parte sur de las Sierras de San Javier según Danielli (1956) entre los altos de Yerba Huasi y Quebrada de Lules, existe un complejo de sedimentos areno-limoso-tobáceos, asignado al Terciario que fue definido con mayor precisión por Fernández y Haro (1982) como Formación Yerba Huasi, correlacionable con la formación La Yesera (cretácica).

Porto (1981) en las Cumbres del Periquillo descubre basaltos y niveles tobáceos describiéndolos en la base de la Formación La Yesera intercalados en niveles cretácicos y basamento metamórfico. Lo cual le permite una confiable datación radiométrica de los basaltos de 111 ± 5 millones de años de edad (Porto, 1992).

3.2.3 Terciario

El Subgrupo Balbuena, se apoya sobre el Grupo Pirgua correspondiente al Eoterciario, en nuestra provincia se encuentra representado por la Formación Yacoraite.

El Terciario está representado por depósitos sedimentarios cretácicos-terciarios, como también por los puramente terciarios representados por el Grupo Choromoro.

El valle de Choromoro es principalmente descripto, para los depósitos sedimentarios Cretácicos-Terciarios en Tucumán, los cuáles se vinculan con sedientitas del Grupo Salta en la zona norte de dicho Valle. Las Formaciones que componen estas sedimentitas son:

FORMACIÓN RÍO LORO: (Bossi et al., 1998)

En el tramo inferior del río de homónima definición es el lugar de perfil tipo, la cual en su parte inferior está conformado por litología tipo areniscas capas macizas de granulometría medias a gruesas con coloraciones que varían de rojizas a anaranjadas, en la parte media diamictitas y limolitas arenosas se encuentran alternadas, con nódulos de manganeso y paleosuelos, en la parte superior del perfil varían a areniscas limosas con paleosuelos bien desarrollados y caracterizados (Bossi et al., 1998).

Afloramientos y relaciones de campo

En zona del Cerro El Cadillal, yace por encima de la Formación El Cadillal con una marcada disconformidad regional, o directamente sobre el Basamento la Formación Medina y en el tramo inferior del Río Loro como perfil tipo.

La Formación Río Loro aflora en el sector oriental de las Cumbres Calchaquíes y en el extremo Sur de Sierras de San Javier.

FORMACIÓN RÍO NÍO (Bossi, 1984)

Definida por Bossi (1984), pero tomando la descripción original realizada por Mon y Suayter, como equivalentes del Grupo Santa Bárbara (Grupo Salta) la litología es de limolitas rojas oscuras, un paquete de aproximadamente de 6 metros. La misma sería equivalente a Formación Alumbreira. La Formación Las Cañas (Ruiz Huidobro, 1973) pueden contenerla parcialmente.

Afloramientos y relaciones de campo

Afloran en zona Norte de San Pedro de Colalao, en tramos del Río Nío se puede observar el perfil tipo. También se puede hallar exhibida ésta formación en la Sierra La Ramada formando un paquete de areniscas rojizas y grises friables, serían el pasaje del Grupo Salta a la formación Río Salí. Mon también las reconoce en las Sierras de San Javier y Taficillo.

Mioceno-Plioceno

Grupo Choromoro (Mon y Urdaneta 1972) está integrado por Formaciones Río Salí, India Muerta, El Boyero y Chulca, posteriormente Porto y otros (1981) dividen en subgrupo Carahuasi integrado por Formaciones Río Salí, India Muerta y Chulca y subgrupo Trancas conformado por Formaciones Cortadero y Acequiones. En este trabajo solo describiremos dos que son las que se consideró que están comprometidas con la zona de estudio como fuente de aporte.

FORMACIÓN RÍO SALÍ (Ruiz Huidobro, 1960)

Definida por Ruiz Huidobro (1960) en el perfil de Cañizares describiendo areniscas y limolitas finas, arcillitas y margas de colores rojizos y pardos de colores principalmente verdes y amarillentos respectivamente con intercalaciones de tobas, cineritas, calizas y yeso.

Redefinida por Bossi (1969), en el Valle de Choromoro donde incluyó una secuencia margosa con calizas y restos de peces en la parte basal de la formación, luego en 1984, fue dividida en tres miembros. La litología de la misma quedó conformada por sedimentos limosos finos de colores rojizos y verdes, que contiene en la parte media alternancia de calizas y capas de yeso primario.

Afloramientos y relaciones de campo

Es correlacionable con las formaciones San José y Anta (Torres, 1985) por lo que se asignó la edad de miocena media (Gavriloff y Bossi, 1992).

Dicha formación es de extensa distribución zonal, aflora hacia el norte y noreste de la zona de estudio, este de cumbres Calchaquies e importante superficie del Valle de Choromoro, en el Río Nío y Chorrillos, en la parte este de las Sierras del Campo y La Ramada, en la Candelaria y sus alrededores, en extremo sur de Sierras La Ramada y Medina, en pedemonte de Cumbres Taficillo y San Javier y faldeo oriental de Cumbres Calchaquies.

El espesor de la misma es variable desde 30 a más de 100 metros en algunos casos. Hacia el techo de la Formación Río Salí pasa en una larga transición a la Formación India Muerta.

FORMACIÓN INDIA MUERTA_(Bossi, 1969)

Definida por Bossi (1969), con perfil tipo en zona de tramo inferior de Río Vipos en la Cuenca de Tapia Trancas, edad asignada al Mioceno Superior.

Composición Litológica:

La litología se compone por areniscas amarillentas y gris amarillentas anaranjadas, alternan de granulometría gruesa a fina macizas con estratificación cruzadas y limolitas pardo claras macizas y algunas bioturbadas. Contienen areniscas conglomerádicas y lentes de rodados pequeños de cuarzo y metamorfitas diseminadas.

Ésta litología indicaría ambiente fluvial de ríos meandrosos de baja sinuosidad, y poca pendiente, de clima desértico a semidesértico con sales solubles que evidencian tal ambiente.

Afloramientos y relaciones de campo

Aflora principalmente en el sur del valle de Choromoro, en los tramos inferiores de Río Vipos en la Cuenca de Tapia Trancas, en la Villa El Cadillal, también en el noroeste de San Pedro de Colalao. La Formación India Muerta se apoya en transición rápida sobre formación de Río Salí, y la parte superior de ésta unidad litológica se encuentra cubierta por sedimentos modernos. Los espesores varían de 240 a casi 1000 metros en tramos de Río Vipos. Por la litología se correlacionaría con el terciario subandino de las Sierras de Guasayan y con la Formación Las Cañas.

3.2.4 Cuaternario

Las litologías predominantes del Cuaternario son depósitos de piedemontes alternados con secuencia loésica y detrítica, que fueron trasladados por corrientes fluviales desde el faldeo oriental de sierras del oeste tucumano como desde sierras Subandinas australes del noreste de la provincia.

Los sedimentos cuaternarios de espesores variables y litologías de depósitos detríticos van disminuyendo gradualmente en el subsuelo desde zonas montañas hacia la llanura este de la provincia, (zona donde se desarrolló el presente trabajo).

Cabe destacar que el estudio mediante la geofísica y registros litológicos de perforación nos brindan datos tomando como base estos sedimentos modernos para reconocer en subsuelo las distintas unidades litológicas.

Pleistoceno-Holoceno

Interpretados por Stappenbeck (1921), como depósitos de conos aluviales antiguos de deyección, además acumulaciones de loess con máximos de 30 metros de espesores y materiales aluviales recientes; se encuentran debajo de cobertura suelo-vegetal, ubicadas al este de las serranías de la provincia, son superficies planas a suavemente onduladas, que a veces se encuentran interrumpidas por elevaciones aisladas que pertenecen a sustratos terciarios o acumulaciones psefiticas o bien valles fluviales erodados.

FORMACIÓN TUCUMÁN (Bonaparte Y Bonovnikov, 1974)

Fue definida como materiales limo-arcillosos pardos rojizos en zonas húmedas y pardas claras en áreas secas. El perfil tipo está ubicado en la ciudad de San Miguel de Tucumán, en la perforación N°1 de la ex-Escuela Agricultura y Sacarotécnica. La extensión areal de la formación va desde piedemonte de Sierras del Aconquija y Cumbres Calchaquies hasta la llanura chaqueña occidental, se encuentran en pie de Sierras de San Javier extendidos por subsuelo de llanura hacia el este de la provincia, también en Las Talitas, al sur de la confluencia con el Río Salí y Calera. Fue definida como depósito cuaternario en base al contenido fósil mamífero (gliptodontitos, camélidos) presente en loess alternados con material detrítico, relacionado con el contenido fósil faunístico pleistoceno de la llanura Pampeana permitiendo la posible datación de Edad Mamífero Lujanense.

NIVELES CUATERNARIOS HOLOCENICOS

Depósitos De Planicie Aluvial y Eólicos

La geomorfología típica es de una extensa llanura aluvial por donde circula con dirección N-S el río Salí, mientras deposita material sedimentario en niveles aterrazados de cauces y paleocauces, estos depósitos tienen arenas finas a medianas y gravas.

Se encuentran en el extremo sur de la zona de estudio extendiéndose hacia los departamentos vecinos.

Depósitos Aluviales Distales y Paleocauces, Loess y Loess Retrabajados

Sedimentos ubicados en la zona sur del área donde se realizó el trabajo, también se encuentran ubicados en la parte occidental de la llanura.

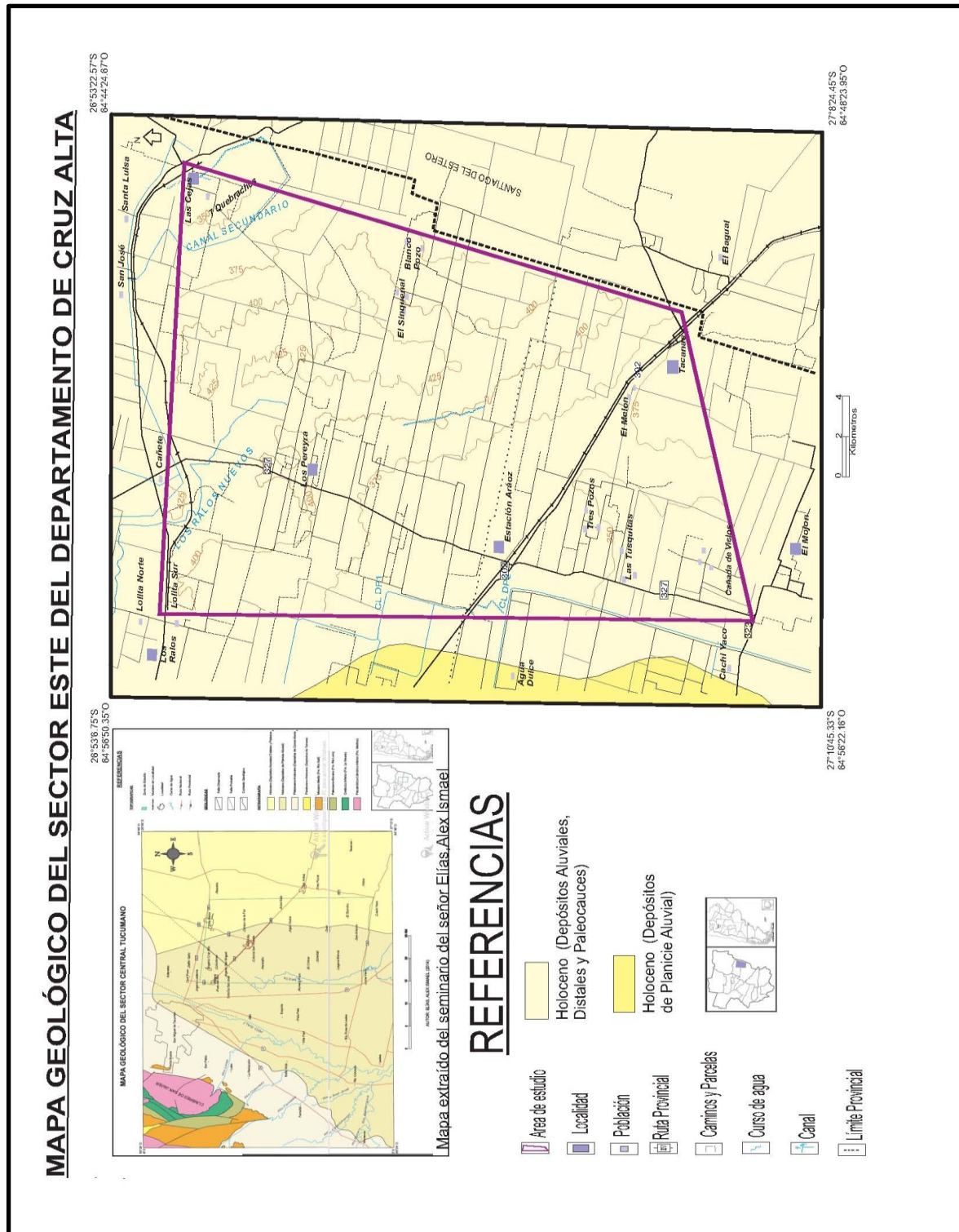
Según Sayago *et. al* (1987) pertenecen a un período árido de erosión-sedimentación eólica entre 6000 y 4000 años al presente, geomorfológicamente forman superficies planas con inclinaciones a 3%, se pueden reconocer cauces y paleocauces inactivos sepultados por loess retrabajados.

En esta zona y tipos de sedimentos existen acuíferos atermales de calidad variable, tanto surgentes como semisurgentes. La extensión areal se da por el este y sureste de nuestra provincia y la provincia vecina Santiago del Estero

Fig.7- Sedimentos cuaternarios: material limo-arcilloso



Fig. 8- Mapa Geológico (Rita Pérez), graficadas desde Hojas Geológicas: CONCEPCION 2766/IV,
y SAN MIGUEL DE TUCUMÁN 2766-II



CAPITULO IV

GEOÉLECTRICA

4.1 -INTRODUCCIÓN

Métodos geofísicos se basan en la aplicación de diferentes técnicas de investigación para conocer las propiedades físicas del subsuelo, la prospección geofísica es una disciplina aplicada con el fin de hallar anomalías entre los parámetros medibles del suelo y cuerpos circundantes. Para lograr buenos resultados deben existir marcados contrastes en la distribución temporal y/o espacial entre éstos.

Una campaña geofísica se compone de etapas consecutivas para obtener resultados y utilidad de datos confiables. Estas etapas fueron nombradas en las primeras unidades pero relacionaremos acá con la práctica de las mismas. Las primeras salidas al campo fueron para realizar observaciones superficiales, datos de perforaciones o canales cercanos, distribución litológica y relieve topográfico, ya que el reconocimiento geológico debe preceder, acompañar y seguir un trabajo geofísico. Se puede observar en la siguiente figura.

Fig.9- Recopilación de antecedentes y mediciones.



Se programaron detalladamente las salidas posteriores para realizar las mediciones geoelectricas en el campo.

La Geoelectrica, estudia el comportamiento de rocas y sedimentos en relación a la corriente eléctrica. La misma se fundamenta en la aplicar artificialmente una corriente eléctrica, desde la superficie hacia el interior del terreno, para medir de forma indirecta las propiedades geofísicas presentes en una secuencia sedimentaria (mide específicamente la diferencia de potenciales que se generan entre electrodos de inyección y de medición)., la ventaja de éstos métodos es de controlar la corriente artificial en el espacio y el tiempo, lo que permitirá un tratamiento matemático e interpretación más exacta.

Sondeo Eléctrico Vertical es el método más aplicado y beneficioso para prospección Geoelectrica en aguas subterráneas, mediante el cual se mide distribución vertical y espacial de resistividades del subsuelo, obteniendo información de profundidad y geometría. El principal beneficio es el corto tiempo y bajos costos en relación con otros métodos geofísicos, además de cubrir una extensión amplia de terreno.

Empleando los sondeos eléctricos verticales (SEV) se podrá reconocer variaciones de la constante geofísica del terreno, recién una vez tratada e interpretada ésta información (valores de resistividad)se podrá relacionar con la geología(registros litológicos de perforación) y finalmente si se puede con presencia de agua subterránea, en otras palabras al finalizar las etapas de trabajo sería posible definir unidades hidrogeológicas existentes en el ámbito de estudio, de ésta manera se busca determinar principalmente la profundidad y continuidad de niveles de acuíferos.

4.2 –METODOLOGÍA

4.2.1- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

La resistividad eléctrica depende de la porosidad, temperatura, permeabilidad, propiedades hidráulicas: como grado de saturación, composición química y de los componentes litológicos.

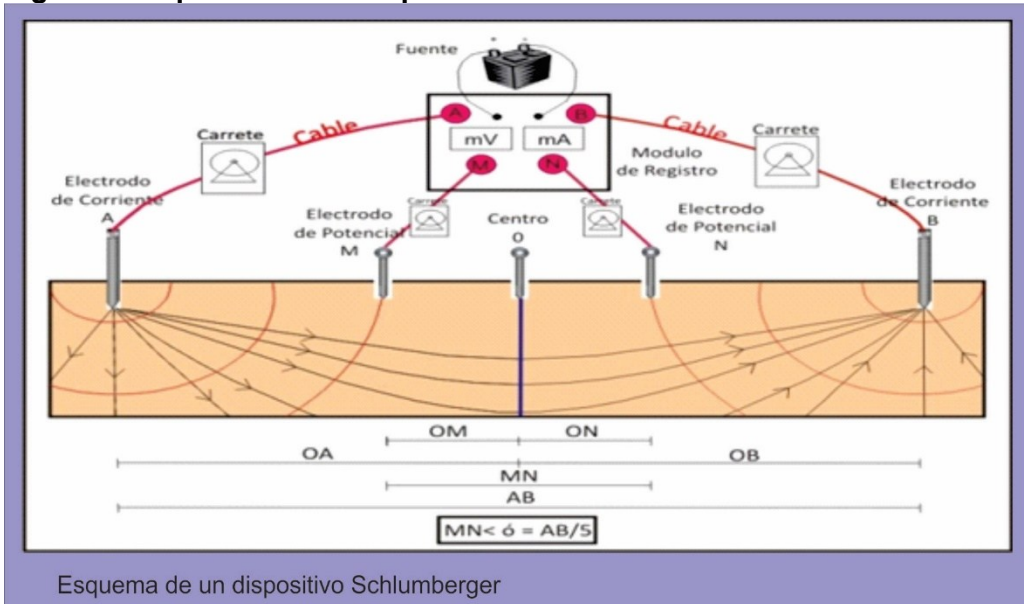
A partir del procedimiento de éste método se obtiene un modelo de variación de la resistividad aparente en función de la profundidad del terreno (espesor y resistividad)

En este trabajo se utilizó el dispositivo de Schlumberger, es un dispositivo geoelectrico lineal, simétrico, tetra-electródico: consiste de dos electrodos de inyección de corriente (A y B) y dos electrodos de medición del potencial (M y N). Estos se encuentran alineados y la distancia entre AB debe ser mayor o igual a cinco veces la distancia entre MN (es decir, $MN \leq AB/5$).

Es un método de superficie que consiste en introducir corriente eléctrica mediante electrodos de inyección, creando una diferencia de potencial ΔV , originada por el campo eléctrico artificial y los electrodos de medición.

Ésta diferencia de potencial depende de parámetros conocidos, intensidad de la corriente inyectada (i) , las separaciones de los electrodos A, M, N y B, como de la propiedad física conocida como resistividad eléctrica (pa) de los sedimentos atravesados.

Fig. 10 – Esquema de un Dispositivo de Medición de SEV



Este método Schlumberger, : obedece a la Ley de Ohm , de acuerdo con ésta , se relaciona la intensidad de corriente inyectada (i) (medida en mA) con la Constante geométrica del dispositivo (K), se transforma con la diferencia de potencial (medida en ΔV) en resistividad eléctrica (ρ) para las distintas formaciones atravesadas.

Ley de Ohm expresa que:

$$\rho = K \cdot \Delta V / i$$

La constante geométrica del dispositivo (K) tiene dependencia con las separaciones de los electrodos A, B, M, N, cuanto más alejados estén se pierde detalle, pero se gana profundidad de investigación.

4.2.2- Instrumental y partes del equipo de Trabajo

Se empleó aparato geoelectrico digital de alta precisión Geometer MPX- 400 propiedad del Dr. Jorge W. García (Fig. 11), constituido por un módulo transmisor que envía corriente constante al terreno, entre las siguientes intensidades: 8,0; 36,4; 70,0; 150; 270 y 550 mA, y un módulo receptor que opera resistividades y potencial espontáneo. (SP) con una precisión máxima de 0.001 mV, con perillas de ajuste.

Los Sendos módulos poseen un display de cristal líquido que permite visualizar la corriente que penetra en el terreno en el primero y la diferencia de potencial generada en micro-volts, con cuatro escalas de lectura en el segundo.

- Dos electrodos (AB) constituidos en acero inoxidable para transmisión de corriente. dará mayores garantías que dichos electrodos metálicos sean de cobre grueso para mejorar la conductividad y obtener una buena medida de la resistencia eléctrica del material al paso de la corriente (resistividad)
- Dos electrodos (MN) constituidos en acero inoxidable para el registro del potencial.

- Dos carretes con 700 m de cable de cobre unipolar forrado de 2 mm de diámetro para inyección de corriente.
- Dos carretes con 25 m de cable de cobre unipolar forrado de 1,5 mm de sección para medición del potencial.
- Bidones plásticos con agua salada para reducir la resistencia de contacto en los electrodos de inyección.
- Fuente de alimentación de corriente continua: batería de 12 voltios y de 110 amperes de capacidad.

Fig.11- Dispositivo Geometer MPX-400 y elementos necesarios



4.3 PRÁCTICAS DEL SONDEO ELECTRICO

El presente trabajo se utilizó un equipo resistivímetro digital con accesorios periféricos adaptados a una configuración Schlumberger.

Teniendo en cuenta que ya existía información de trabajos anteriores de la Cátedra de Hidrogeología con el mismo equipo de trabajo el cuál realizó numerosos SEV que fueron utilizados en el presente seminario, se recopiló esa información y se realizaron 7 Sondeos Eléctricos Verticales dentro de la zona de estudio.

Se avanzó en sentido oeste-este, desde la capital tucumana hacia el lugar de trabajo, llegando a límites con la provincia Santiagueña y al norte de localidad de Leales.

Los SEV realizados se pueden evaluar dentro del Mapa de ubicación de SEV (Fig.14) y la información investigada y analizada se encuentra disponible en el Anexo del trabajo. Los SEV dentro y fuera de la zona son los siguientes:

- SEV1, sobre la ruta 327 entre localidades de Los Pereyra Norte y Cañete
- SEV2, sobre un camino principal entre los Pereyra y El Sinquenal
- SEV 3, sobre el mismo camino del SEV 2 en localidad de Blanco Pozo.
- SEV4 ubicado muy cerca de la ruta 327 en localidad Los Pereyra Sur
- SEV5 se realizó orientación norte sur en la localidad de Tacanas , extremo sureste de la zona de trabajo,
- SEV 6 ubicado en localidad Cañada de Viclos, extremo sudoeste de la zona de trabajo.
- SEV7 ubicado hacia el oeste de la zona trabajada en la localidad de Tusquita cerca de la ruta 327

Los sondeos realizados con anterioridad por la cátedra de Hidrogeología en zonas cercanas también fueron utilizados y serán detallados de igual manera, son los siguientes:

- SEV#1 Rafaela Pozo- Las Cejas (a la vera de la ruta 303)
- SEV#2 San Agustín, Cañete (a la vera de la ruta 303)
- SEV#3 Lolita Norte (cerca de la ruta 303)
- SEV#4 Árbol Solo (sobre la vera de la ruta 302)
- SEV #5 Cachi Yaco (a la vera de la ruta 327)
- SEV#6 Dentro de la Fca. La Cañada (Mujer Muerta),

4.3.1 Prácticas de Campo y Mediciones

En la práctica de campo, los electrodos de corriente A y B se van abriendo progresivamente, mientras que M y N se dejan fijo hasta obtener valores de ΔV , cuando esto no se logró, habrá que hacer nuevas aperturas de M y N. Las siguientes mediciones serán hacia ambos lados del equipo, a lo largo de la línea elegida para realizar el SEV

Fig.12- SEV4 ubicado muy cerca de la ruta 327 en localidad Los Pereyra Sur



Geoeléctrica. Los Pereyra Sur

Durante las diferentes salidas al campo se dispuso de cuatro ayudantes y un operador (figuras 4.4. y 4.4.). Los electrodos fueron desplazados con separaciones de la línea de alimentación AB\2 : 1,2,4,7,10,15,20,40,60,80,100,150,200,300,400,500 metros distancia. Las separaciones en metros entre los electrodos M y N en la línea de toma de potencial fueron: 0.5, 3, 10, 40 . Se realiza la ubicación del sondeo con GPS, para tener coordenadas exactas en la ubicación de los mismos dentro del mapa.

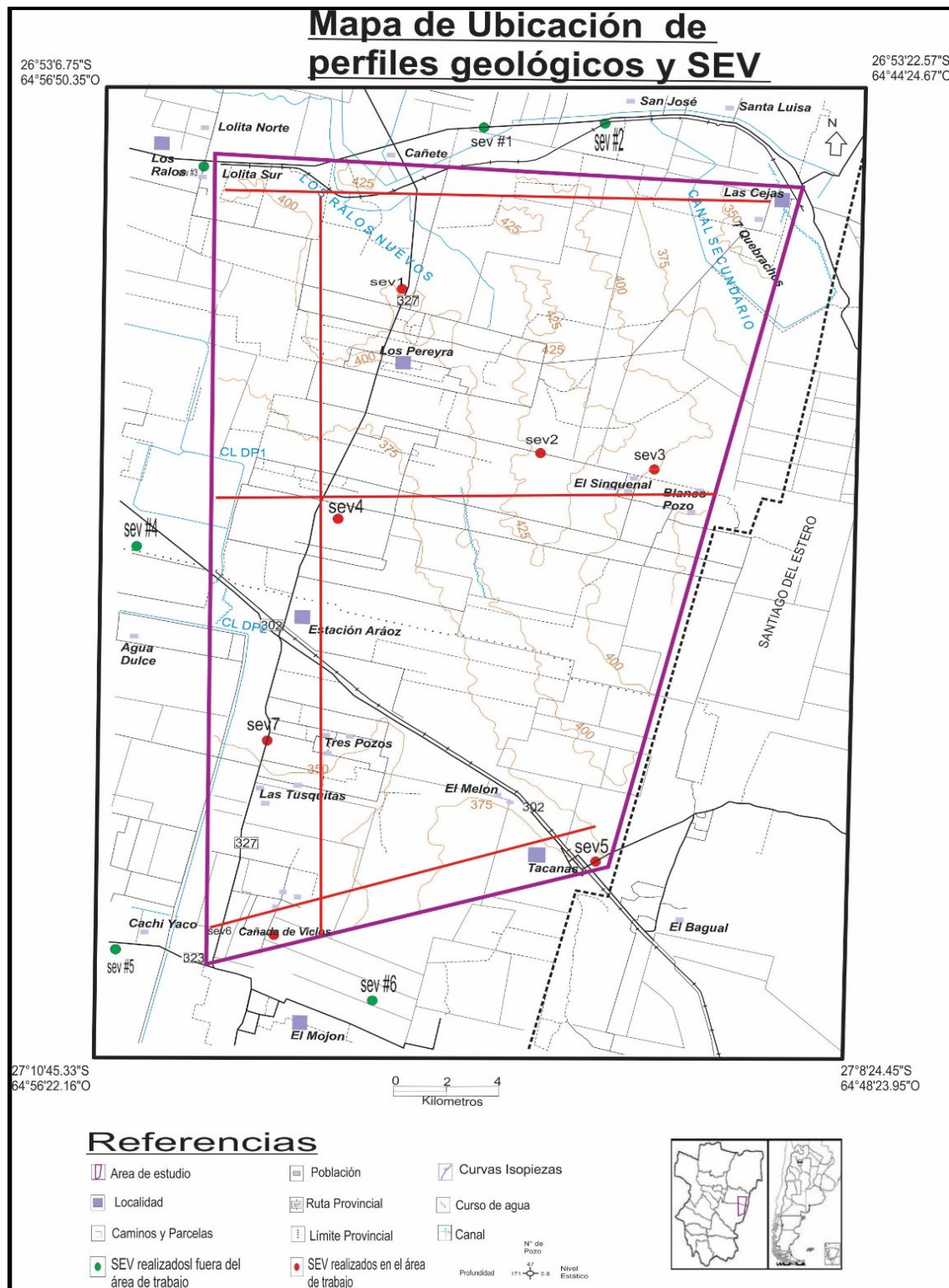
Se instala el equipo de medición teniendo en cuenta que no haya cables de alta tensión cercanos para no distorsionar el estudio ya que se trabaja con corriente, los ayudantes colocan los 4 electrodos (AMNB) en principio a una distancia de 1 m, entre ellos, se compensa el potencial natural del terreno y se lo energiza con una corriente continua de intensidad de 8 o 36.4 mA (electrodos AB) y se lee la diferencia de potencial ΔV en mV (electrodos MN). Los valores serán registrados en una planilla de campo Excel especialmente diseñada para calcular rápidamente la resistividad aparente y dibujar la curva.

Fig.13- Equipo de trabajo operador y ayudantes



Equipo de Trabajo : operador y ayudantes

Fig.14-Mapa de Ubicación de los sondeos Eléctricos y Perfiles Geológicos



4.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En una planilla Excel de cálculo, son volcados los valores de la diferencia de potencial ΔV , leídos por el operador y se calcula la resistividad aparente (con estos datos se construyen las curvas de campo,, permitiendo conocer rápidamente y registrando las resistividades aparentes (ρ_a), teniendo en cuenta la constante K para cada apertura de $AB/2$, en el eje de las ordenadas y la separaciones interelectródicas en el eje de las abscisas, sobre un gráfico bilogarítmico

Se realizan análisis de la información que se obtiene de los SEV.

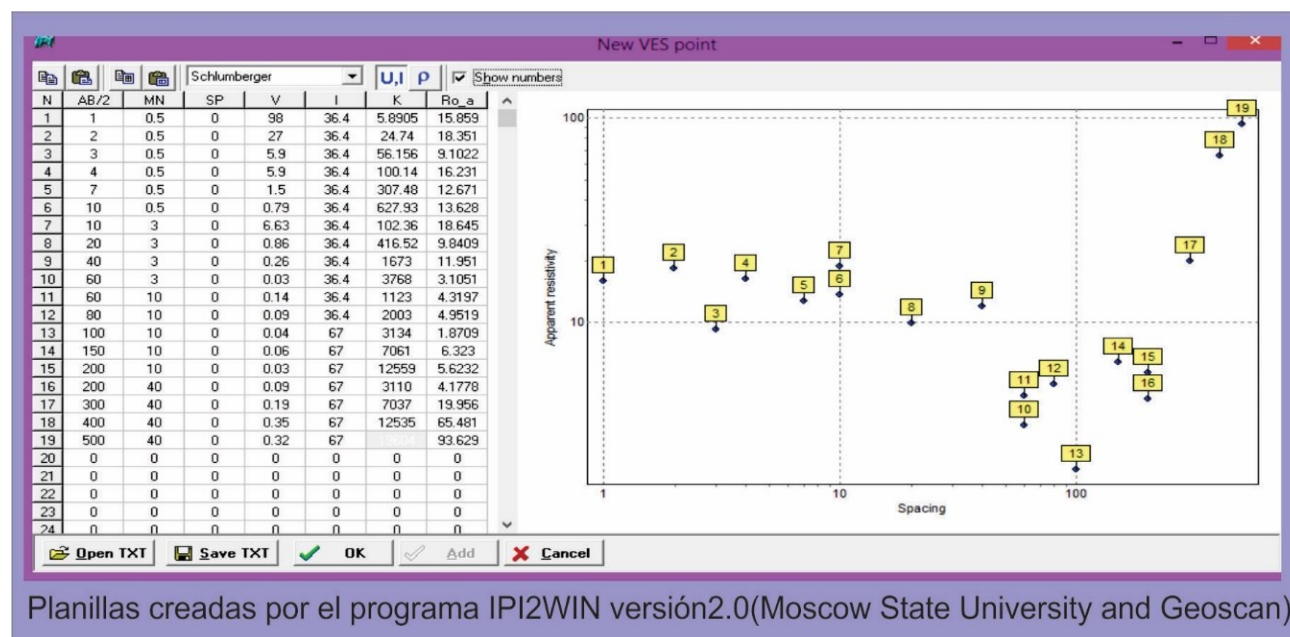
El análisis cualitativo inicia en el campo permite determinar en forma sistemática y rápida la identificación de los tipos de curvas en base a numerosas curvas teóricas de resistividad llamadas Curvas Patrón, según la clasificación de Orellana y Mooney (1964), interpretando la distribución Geoeléctrica del subsuelo, del número de capas y así como rangos de resistividades y espesores aparentes.

El análisis cuantitativo consiste en realizar cortes geoeléctricos es realizado mediante programas que relaciona valores de resistividad frente los espesores de las capas involucradas, logrando un ajuste más real de las curvas de campo con el modelo geoeléctrico propuesto para dispositivo Schlumberger.

Se utiliza el programa IPI2WIN versión 2.0 (Moscow State University and Geoscan), (Ver en anexo Curvas de Sondeos Eléctrico Vertical)

Luego se correlacionan estos cortes geoeléctricos con datos de perfiles con el fin de visualizar y determinar la variaciones laterales.

Fig.15- Planilla Excel de cálculo del SEV N°5: Tacanas



4. 5- RESULTADOS

En este apartado se realizó un análisis cualitativo, donde se clasifican los tipos de curvas y un análisis cuantitativo donde se interpretan las curvas para incluirlas luego en la próxima unidad dentro de los perfiles Geoeléctricos.

4.5.1 - Análisis Cualitativo.

Mediante este análisis se pudo determinar 4 tipos de curvas de SEV según la clasificación de Orellana y Mooney .Los modelos básicos que se identifican en la zona son: tipos K (campana), H (fondo de barco o mínimo), A (doble ascendente), Q (doble descendente), las cuales se distribuyen en las siguientes combinaciones:

- curvas tipo KK
- curvas tipo KH
- curvas tipo HK
- curvas tipo QA

En cualquiera de los modelos puede interpretarse cambios en los primeros metros de subsuelo que pertenecen a la cubierta vegetal o suelo pedregoso y asfalto, cuando el SEV fue tomado cercano a la ruta, marcando de moderada a resistividad alta.

Por lo que lo que en las zonas más profundas, se vuelven más homogéneas las propiedades geoelectricas de los materiales del subsuelo.

En la interpretación de las curvas se observó cómo predominantes las curvas tipo QA, poseen capas con resistividades que decaen lo que indica la predominancia de materiales finos y conductivos, en las primeras capas, se incrementa la resistividad con la profundidad en este modelo de curva, indicando materiales más gruesos y/o mayor humedad. Corresponde a este tipo de curva los sondeos eléctricos numero: 6,7, #1, #3, #5 (ver tabla 6.2).

Continúan las curvas tipo KK, en orden de predominio con cuatro SEV (número 1, 2,3, #4), este tipo de curva se puede observar en el comienzo de la curva una resistividad menor que luego incrementa en las siguientes capas para decrecer nuevamente. Se interpreta este comportamiento como materiales finos que pueden ser paquetes de limos o arcillas con intercalaciones de material más grueso como arena media a gravilla.

Tres sondeos eléctricos son del tipo HK los número (#2, 4,5) y un sondeo pertenece al tipo KH son curvas con diseños que también describen alternancia de materiales diferentes granulométricamente.

Tabla 2- Tipo de curvas de los SEV y ubicación de los mismos (se distinguen los Sev fuera del área estudiada con el símbolo # (numeral))

TIPO DE CURVA	Nº DE SEV y UBICACIÓN
KK $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4 > \rho_5 > \rho_6 < \rho_7$	<u>SEV 1</u> - sobre la ruta 327 entre localidades de Los Pereyra Norte y Cañete <u>SEV 2</u> -camino principal entre los Pereyra y El Sinquenal <u>SEV 3</u> - Blanco Pozo <u>SEV#4</u> Árbol Solo (sobre la vera de la ruta 302)
KH $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4 < \rho_5 < \rho_6$	<u>SEV#6</u> Dentro de la Fca. La Cañada (Mujer Muerta),
HK $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4 < \rho_5 < \rho_6$	<u>SEV#2</u> Rafaela Pozo- Las Cejas (a la vera de la ruta 303) <u>SEV4</u> - cerca de la ruta 327 en localidad Los Pereyra Sur <u>SEV5</u> - Localidad de Tacanas
QA $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4 < \rho_5 > \rho_6 > \rho_7 > \rho_8$	<u>SEV6</u> - Localidad Cañada de Viclos, <u>SEV7</u> -Localidad de Tusquista <u>SEV#1</u> -San Agustín, Cañete (a la vera de la ruta 303) <u>SEV#3</u> Lolita Norte (cerca de la ruta 303) <u>SEV#5</u> Cachi Yaco(a la vera de la ruta 327)

4.5.1 - Análisis Cuantitativo.

A partir de la curva teórica computada que se considera representativa del área (ver anexo, curvas geoeléctricas) se trabaja para obtener diferente información sobre las capas del subsuelo.

Se utilizan los sondeos eléctricos para interpolarla con la información histórica recopilada de diferentes pozos (se puede observar en Planillas de perforaciones del Anexo). Se desarrollaron cuatro perfiles litológicos dentro del área de estudio, interpretados y comparados con sus respectivos Sev, (ver capítulo V, Perfiles Geológicos). Se trazaron las siguientes transectas de perfiles intercalando pozos litológicos y SEV realizados para cada zona

❖ **Transectas con dirección oeste - este:**

Perfil Geológico A-A' con 20 km de largo ubicado en la parte norte de la franja de estudio (ver mapa con ubicación de SEV y perfiles) , está compuesto por : SEV #3, pozo Lolita N3, pozo escuela 108 de Los Pereyra, SEV 1, SEV#1, SEV#2, pozo escuela Rafaela Pozo, y escuela provincial de Córdoba ambas en localidad las Cejas .

Perfil Geológico B-B' con 17 Km de largo ,ubicado en la parte central de la zona estudiada, compuesto por SEV#4, pozo la Salamanca Los Pereyra, pozo escuela Estación Agro-experimental Estación Araoz, SEV4, SEV2, SEV3, y pozo Blanco Pozo.

Perfil Geológica C-C' con 15 km de largo, ubicado en la parte sur de la zona de estudio, compuesto por pozo Cachi Yaco, SEV5, pozo Cañada de Viclos, SEV#6, pozo El Melón y SEV5.

❖ **Transecta con dirección Norte –Sur**

Perfil Geológico D-D' : con 30 km de largo, ubicado hacia la parte oeste de la zona de trabajo, compuesto por pozo Lolita N3, SEV1, pozo escuela 327 Los Pereyra, SEV4, pozo escuela Estación Agro-experimental Estación Araoz y SEV7.

En todos los casos se intercalaron las perforaciones con los SEV interpretados (curvas).

La ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales se encuentra detallada en una planilla en La unidad IV Geoeléctrica, al igual que los mapas, donde se puede constatar la ubicación tanto de SEV y de Perfiles Geológicos.

- La descripción e interpretación se desarrollan en el capítulo V de Hidrogeología.

CAPITULO V

HIDROGEOLOGÍA

5.1 –INTRODUCCIÓN

La naturaleza litológica de las rocas, sobre todo su permeabilidad tanto superficial como subterránea influyen en el régimen de los cursos de agua los cuáles están vinculados con factores meteorológicos como el clima y topográficos como la altitud.

El desarrollo de este capítulo tiene como objetivo lograr el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas de la zona de estudio, que se encuentra dentro del área del valle del Río Salí, (García, J. et al; 2014), que pertenecen a la provincia hidrogeológica Tucumano- Santiagueña (Sosic y Ruíz Huidobro, 1980).

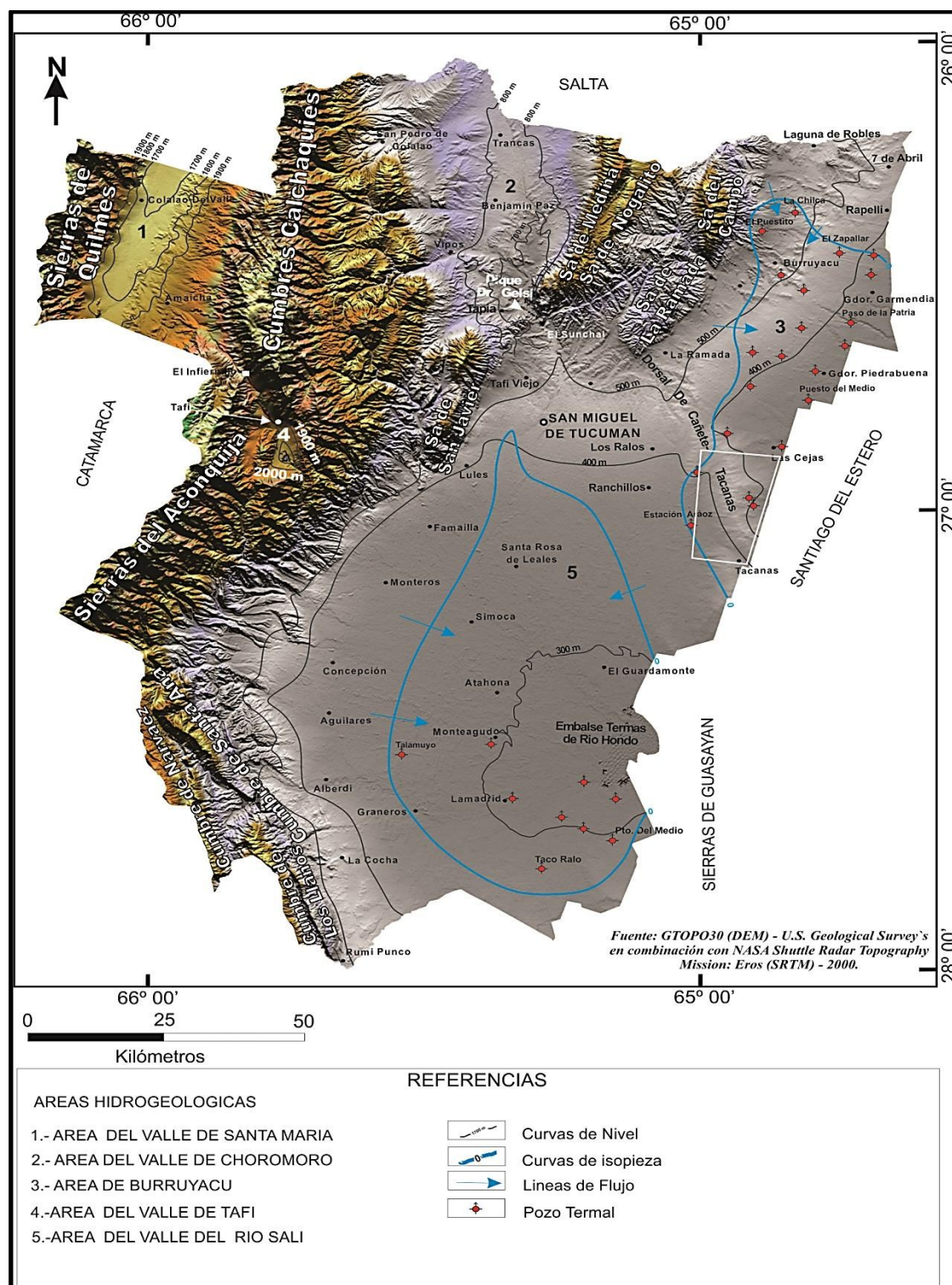
Basados en las características hidrogeológicas del valle del Río Salí se pueden diferenciar cuatro sectores hidrogeológicos con rasgos distintivos (García, J. et al; 2014):

- Vertiente Oriental de las Sierras del Aconquija y Cumbres Calchaquies.
- Vertiente Oriental de la Sierra de San Javier;
- Vertiente Austral de la Sierra de Medina y la Ramada y
- Vertiente Occidental de la Sierra de Guasayán y Lomadas de Cañete- Tacanas,

El presente trabajo se desarrolla dentro de la última vertiente; ocupando un área de 2000 km² se extiende desde Ranchillos y Cañete al norte, hasta Taco Ralo por el sur y desde el arroyo Mixta por el oeste hasta las lomadas de Cañete- Tacanas al este.

En la siguiente Figura 16: Mapa de Áreas Hidrogeológicas de la Provincia de Tucumán, se pueden observar las distintas áreas hidrogeológicas, la dirección de flujo de agua subterránea y la ubicación del área de estudio.

Fig.16- Mapa de Áreas Hidrogeológicas de la Provincia de Tucumán (García et. al 2014).



5.2 –METODOLOGÍA

El estudio consistió en varias etapas de investigación, como primera medida recopilación de datos meteorológicos históricos (precipitaciones y temperaturas) aportados por entidades públicas, datos que pertenecen a registros de estaciones vecinas y cercanas a la zona, para poder realizar el balance hídrico de cuenca y estimar el volumen de la recarga de los acuíferos del sector.

El estudio hidrogeológico, también radicó en la recopilación de antecedentes de perforaciones de la zona que sirvieron para la realización de perfiles del subsuelo, que fueron correlacionados con la litología.

Mediante los SEV descriptos en la unidad anterior se pudieron determinar la disposición y espesor de las capas geológicas del subsuelo así como correlacionar con los perfiles litológicos de pozos, para una correcta interpretación de la circulación hidrodinámica de la cuenca.

5. 3–BALANCE HÍDRICO

El Balance Hídrico es un término que expresa el equilibrio hídrico de una región y representa la interrelación entre volúmenes que ingresan al sistema y que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.

Para realizar el balance hídrico se toman periodos de 30 a 50 años para contar con información confiable, así como las variaciones de los volúmenes de agua en ciclos de máxima, mínimas y media.

Se lo plantea como un sistema hidrológico cerrado donde se involucran distintos parámetros como la precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración, registrados en las diversas estaciones meteorológicas distribuidas en el país.

Si el período de tiempo analizado es muy largo se minimizan las variaciones del almacenamiento, debido a las entradas por recarga inducida por riego y las salidas por bombeo de pozos. En este caso el ciclo es considerado estable y cumple con la condición que los aportes de agua, son iguales a las pérdidas y que la variación del almacenaje es nulo o despreciable.

El balance hídrico se expresa mediante una ecuación matemática y en este trabajo se utilizará la primera aproximación a la formula simplificada para hacer una estimación y minimizar errores en las mediciones de los parámetros registrados.

Ecuación del Balance Hidrológico: **$P - Er - R - I = 0$**

despejando I obtenemos **$I = P - Er - R$**

Donde las entradas al sistema son las precipitaciones (**P**) y las salidas son la evapotranspiración (**Er**); el escurrimiento (**R**) y la infiltración (**I**).

La magnitud de todos los parámetros se expresan en milímetros (mm) y los datos son registrados regularmente a diario para elaborar luego los informes semanales, mensuales y anuales o como en nuestro caso procesar dicha información para períodos largos, en general mayores a diez años.

Para realizar el Balance Hídrico en el área de estudio se tuvieron en cuenta nueve estaciones meteorológicas, proporcionados por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (E.E.A.O.C.2016) a fin de obtener la precipitación media de la región y su volumen, evapotranspiración real y potencial, así como almacenamiento dentro del área.

En forma convencional, las tabulaciones comienzan con el mes de julio y terminan con el mes de agosto, el método más adecuado a la hora de representar gráficamente es el diagrama columnar propuesto por Meinzer, ubicando los meses en el eje de las abscisas y los valores medios mensuales en el eje de las ordenadas, con la ventaja de visualizar rápidamente períodos y promedios anuales, mensuales, más húmedos, más secos etc. Como ejemplo la siguiente tabla de precipitaciones de las estaciones vecinas y dentro del área de estudio.

Tabla 3- Promedios de las diferentes estaciones pluviométricas en la zona de estudio y cercanas.

PRECIPITACIÓN	Oeste del Área de estudio					Dentro del Área de estudio			Este del Área de Estudio	
		<i>El Bracho</i>	<i>Agua dulce</i>	<i>Los Ralos</i>	<i>Cruz Alta</i>	<i>Lolita</i>	<i>Las Cejas</i>	<i>Tacanas</i>	<i>Isca Yacu</i>	<i>Gdor.Piedra buena</i>
	1-Promedio Anual	941,7	899,0	878,5	1012,0	892,8	784,3	702,6	612,4	726,5
	2-Promedio Mensual	78,47	74,91	73,2	84,33	74,39	65,35	58,55	51,03	60,53
	3-Período Húmedo	Nov/Mar	Dic/Mar	Dic/Mar	Nov/Mar	Nov/Mar	Dic/Mar	Dic/Mar	Dic/Mar	Dic/Mar
	4-Período seco	Abr/Oct	Abr/Nov	Abr/Nov	Abr/Oct	Abr/Oct	Abr/Nov	Abr/Nov	Abr/Nov	Abr/Nov

❖ **Balances Hídricos. Tablas y Gráficas de Estaciones pluviométricas.**

Tabla 4- Estación El Bracho

Estación: El Bracho													
Período: Año 1961-1990													
Parámetros(mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total Anual
P	6	6,3	15,3	43,7	102,5	138,5	197,1	176,2	165,4	63,2	16,8	10,9	941,7
EP	24,8	35,1	53,8	88,6	114,1	143,1	145,1	115,7	100,3	64	43,3	24,1	952
P-EP	-18,8	-28,8	-38,5	-44,9	-11,6	-4,6	52	60,5	65,1	-0,8	-26,5	-13,8	-10,3
Almacenamiento	125,5	109,2	91	75	82,2	95,5	134,9	154,9	175,2	167,3	147,3	138,1	1496,1
ER	18,6	22,7	33,5	59,6	95,3	122,2	137,6	109,6	98,5	60,4	36,8	20	814,7

Fig.17 Gráfico Columnar de Estación El Bracho

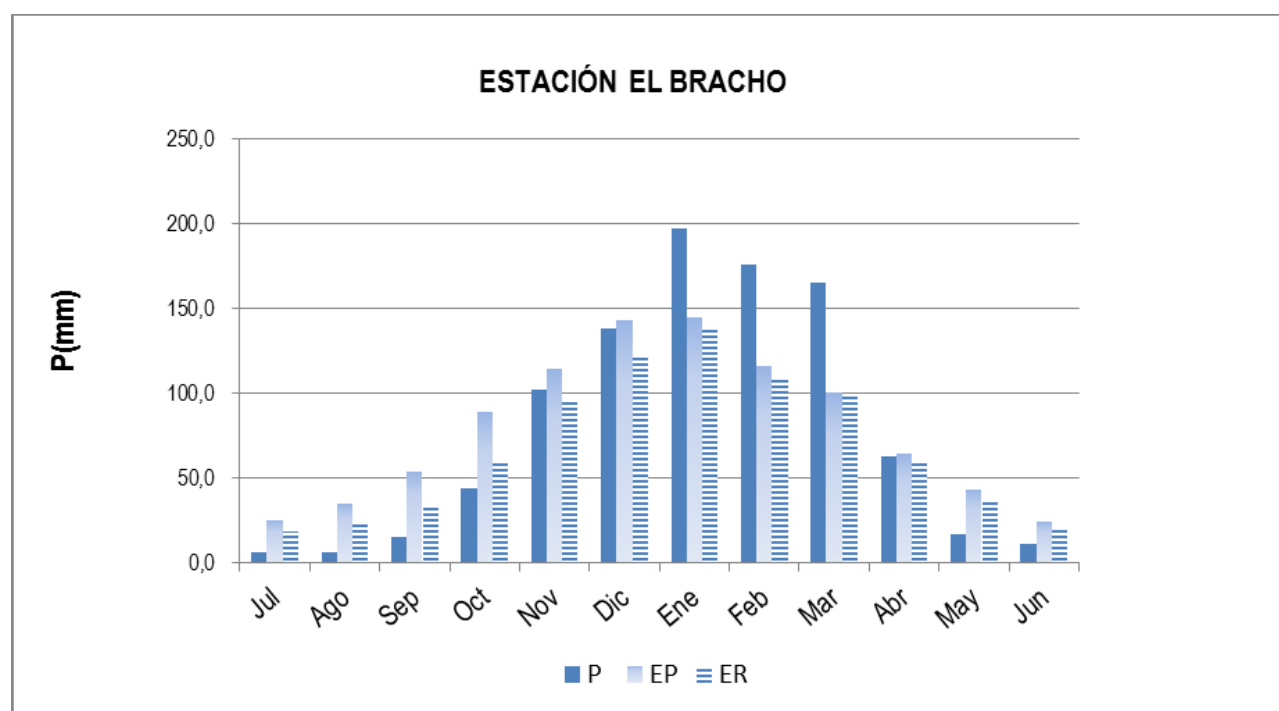


Tabla 5- Estación Agua Dulce

Estación: Agua Dulce							Período: Año 1961-1990						
Parámetros(mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total Anual
P	4	5,8	12	47,4	91,9	149,2	190,3	158,9	151,5	61,9	17,3	8,8	899
EP	24,7	35,2	54,1	89,4	115,3	144,7	146,7	116,8	101	64,2	43,3	24	959,3
P-EP	-20,7	-29,4	-42,2	-42	-23,4	4,5	43,7	42,1	50,5	-2,3	-26	-15,2	-60,3
Almacenamiento	112,3	97,2	79,5	67,8	66	87,9	119,9	142,6	163,2	153,5	134,7	124,8	1349,3
ER	16,4	20,9	29,7	58,4	90,8	124,8	138,8	108	98,1	59	34,8	18,7	798,5

Fig.18- Gráfico Columnar de Estación Agua Dulce

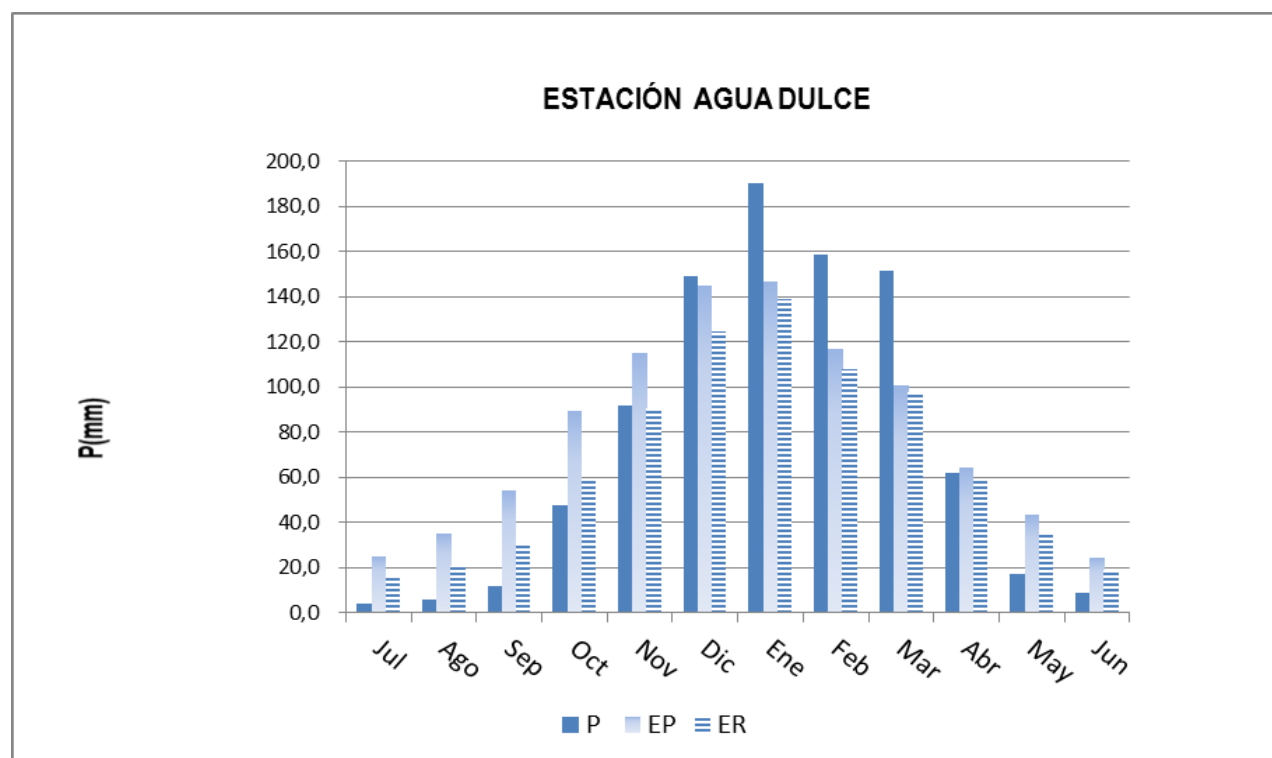


Tabla 6-Estación Los Ralos

Estación: Los Ralos							Período: Año 1961-1990						
Parámetros(mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total Anual
P	5,2	4,5	12,7	48,5	91,6	136,1	192,7	161,3	141,8	59,1	17,3	7,7	878,5
EP	24,8	35,2	54	88,6	113,8	142,3	144,2	114,9	99,9	63,8	43,1	24,1	948,7
P-EP	-19,6	-30,7	-41,3	-40,2	-22,2	-6,2	48,6	46,4	41,9	-4,8	-25,9	-16,4	-70,2
Almacenamiento	107,1	91,9	75,5	65	66,2	82,1	115,7	138,8	152,3	145,2	127,8	117,7	1285,3
ER	15,8	19,7	29,1	59	90,5	118,7	135,3	109,3	95,5	56,7	34,7	17,8	782,1

Fig.19- Gráfico Columnar de Estación Los Ralos

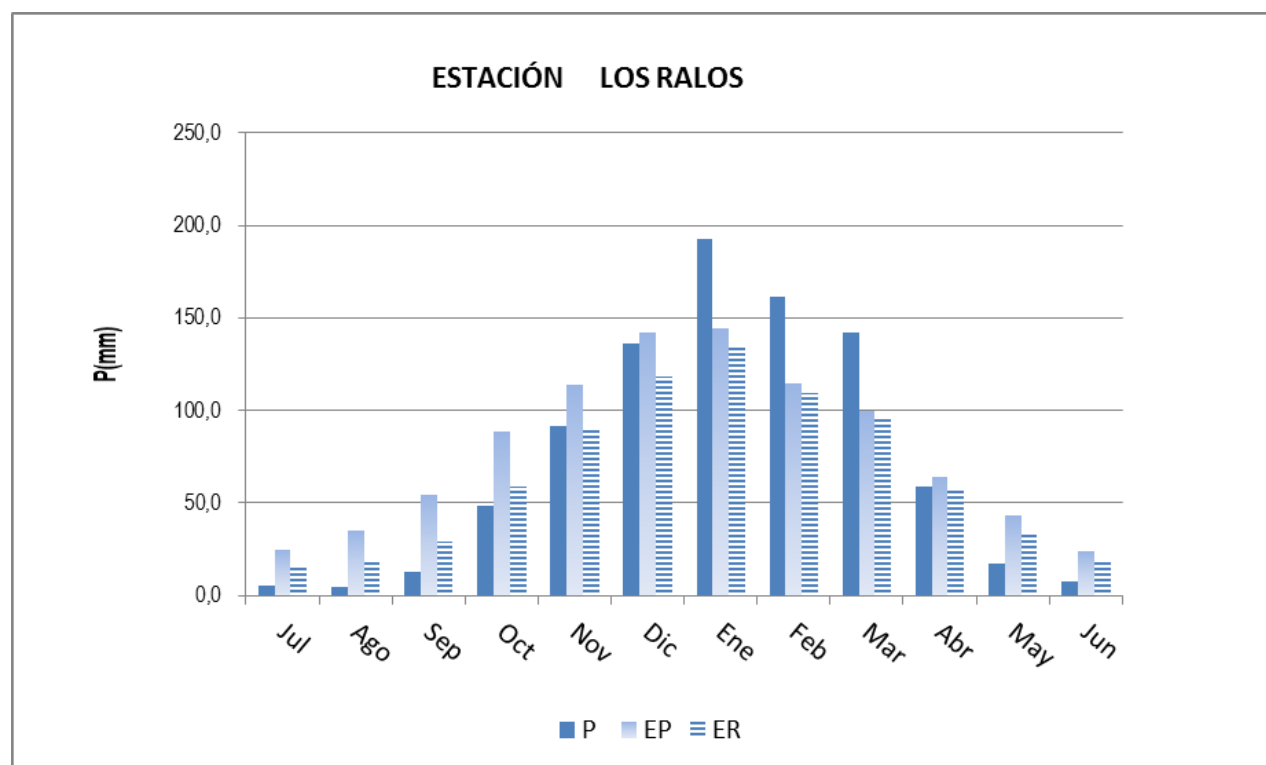


Tabla 7- Estación Cruz Alta

Estación: Cruz Alta Período: Año 1961-1990													
Parámetros(mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total Anual
P	6,1	8,4	14,6	45,8	108,2	146	219,5	194	178,1	62,3	19,1	9,7	1012
EP	24,8	34,9	52,9	86,9	111,4	139,4	141,6	113,2	98,7	63,4	43,2	24,2	934,6
P-EP	-18,8	-26,6	-38,3	-41,1	-3,2	6,6	78	80,8	79,5	-1	-24	-14,5	77,4
Almacenamiento	127,3	111,9	93	78,3	89,9	104,4	151,4	172	179,2	171,6	150,4	139,7	1569,2
ER	18,4	23,9	33,5	60,5	95,9	123	135,9	108,6	97,4	60,4	37,3	20,5	815,4

Fig.20- Gráfico Columnar de Cruz Alta

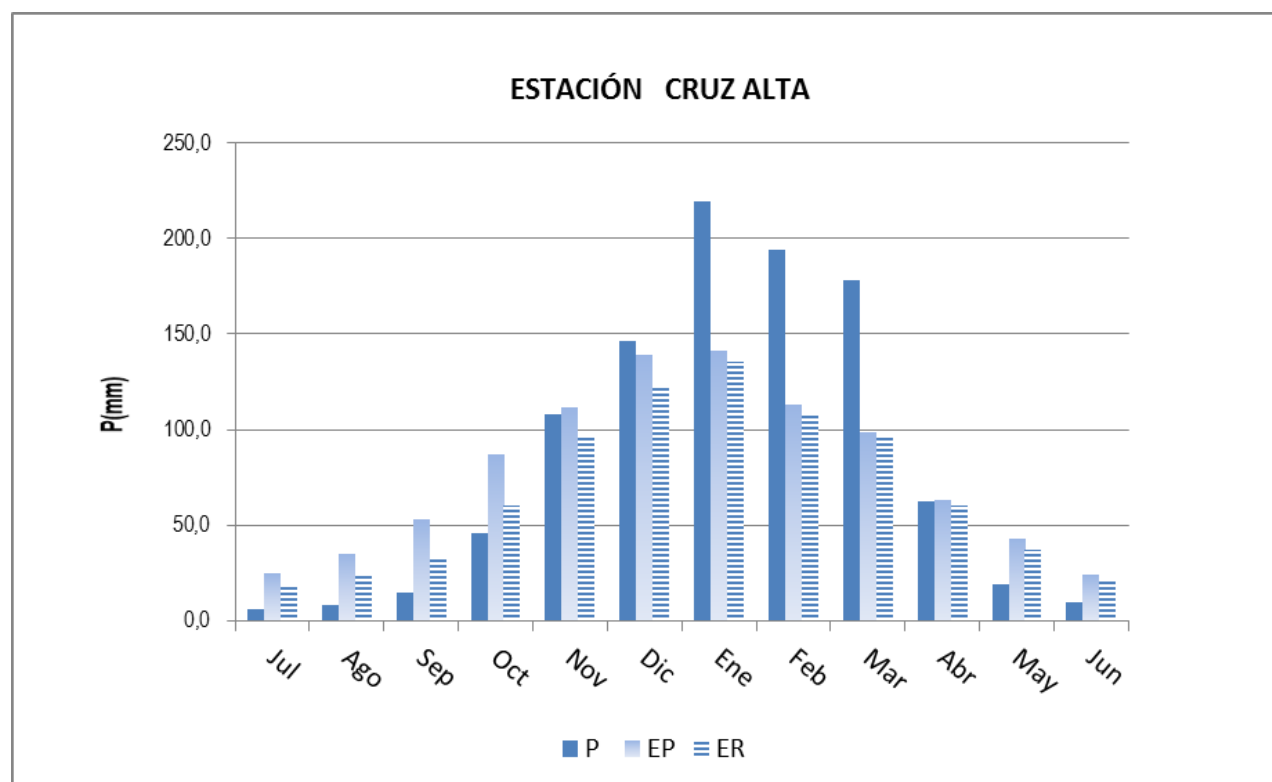


Tabla 8- Estación Lolita

Estación: Lolita													
Período: Año 1961-1990													
Parámetros(mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total Anual
P	4,5	7,4	13	48,1	97,5	143,5	190,4	159	149,2	54,8	17,6	8,1	892,8
EP	24,7	35,1	53,5	87,7	112,6	140,7	142,6	113,8	99,1	63,5	43	24,1	940,3
P-EP	-20,3	-27,7	-40,5	-39,6	-15,1	2,8	47,8	45,2	50,1	-8,7	-25,4	-16	-47,5
Almacenamiento	108,7	95,4	78,6	67,9	75	88,5	119,4	140,2	156,3	147,3	129,8	120	1327
ER	15,8	20,7	29,7	58,9	90,4	119,1	133,2	107,5	95,5	56,6	35	17,9	780,3

Fig.21- Gráfico Columnar de Estación Lolita

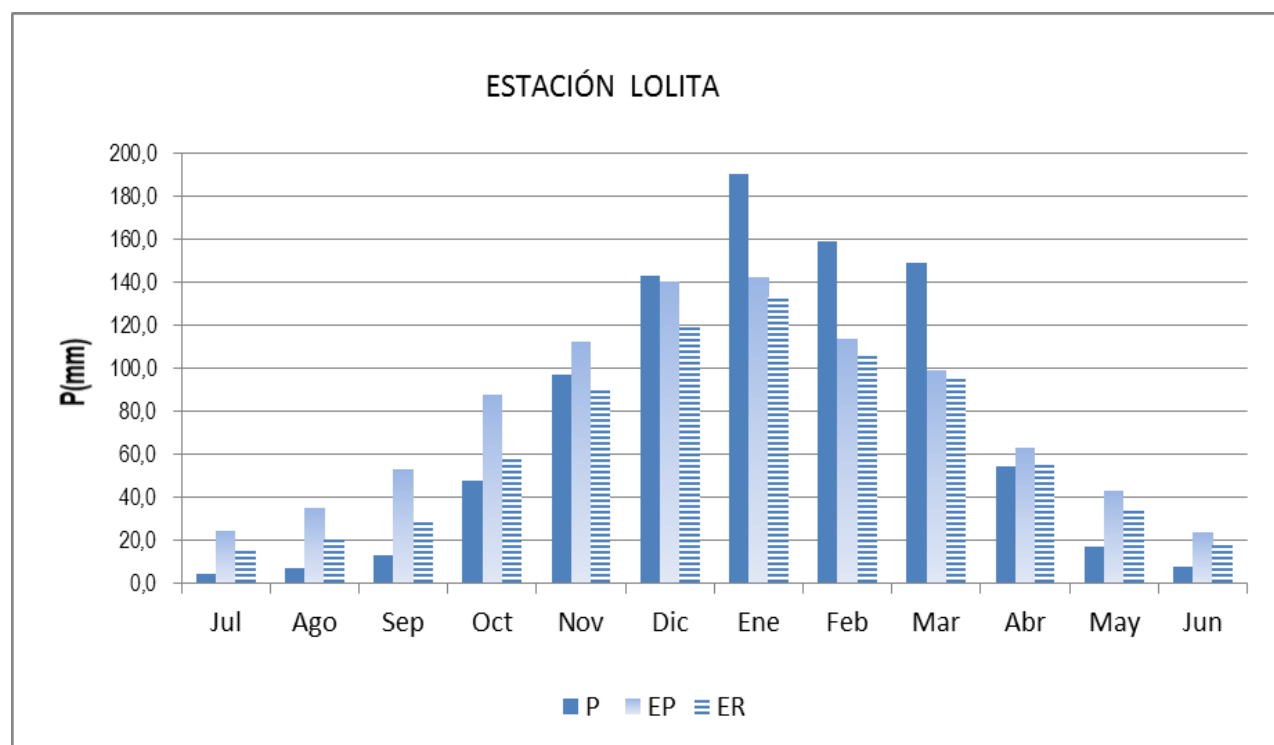


Tabla 9-Estación Las Cejas

Estación: Las Cejas													
Período: Año 1961-1990													
Parámetros(mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total Anual
P	3,2	4,9	15,4	38	78,1	136,3	160,5	146,3	132,1	49,9	12,7	7	784,3
EP	25	36	55,9	92,6	119,2	149,4	151,1	119,8	103,4	65,5	43,9	24,3	986
P-EP	-21,9	-31,1	-40,5	-54,6	-41,2	-13,1	9,4	26,5	28,7	-15,5	-31,1	-17,3	-201,7
Almacenamiento	84,9	73,1	60,7	48,5	44,5	61,7	79	104	126,1	118,2	102,1	94,5	997,2
ER	12,8	16,6	27,7	50,2	82,1	117,2	130,2	105,4	92,8	53,5	28,8	14	731,5

Fig.22-Gráfico Columnar de Estación Las Cejas

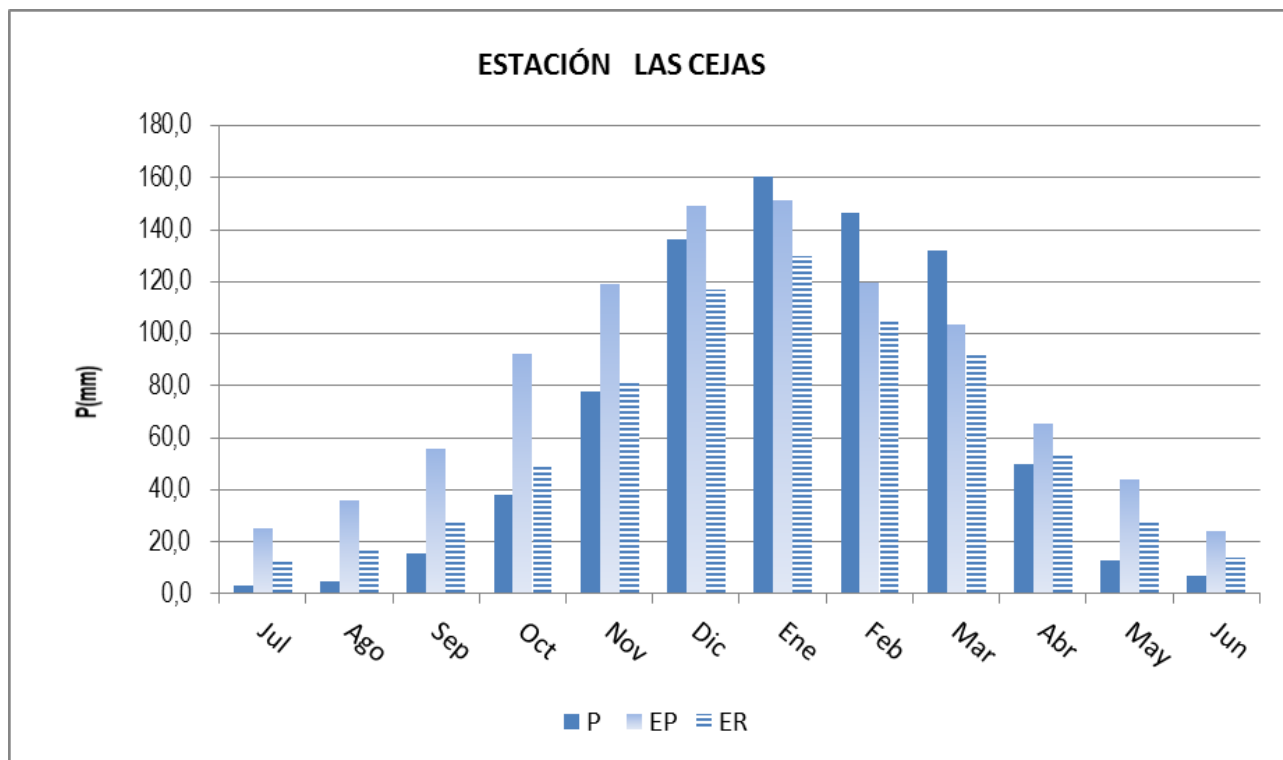


Tabla 10- Estación Tacanas

Estación: Tacanas							Período: Año 1961-1990						
Parámetros(mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total Anua
P	4,2	2,7	13,5	22,8	72,7	111,7	166,5	117,2	125	44,8	15	6,6	702,6
EP	24,4	35,4	55,5	91,8	118,9	149,1	150,7	119,4	102,6	64,7	43	23,6	979,1
P-EP	-20,2	-32,7	-42	-69	-46,2	-37,4	-15,8	-2,2	22,4	-19,9	-28	-17	-276,5
Almacenamiento	72,9	61,9	50,6	37,2	33,1	35,3	68	83,5	108,4	99,7	87,3	80,6	818,5
ER	11,8	13,7	24,8	36,2	76,8	109,5	128,6	97,7	90,4	51,5	27,4	13,3	681,7

Fig.23-Gráfico Columnar de Estación Tacanas

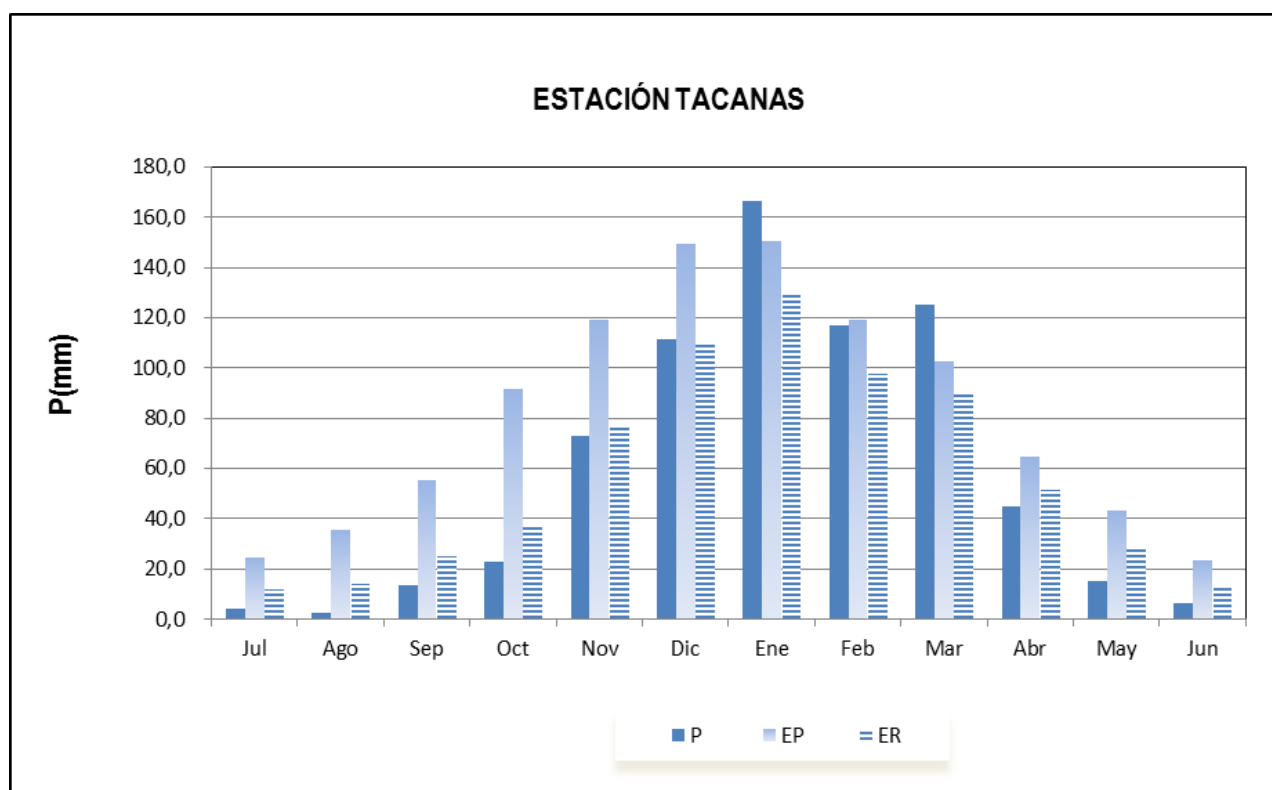


Tabla 11- Estación Isca Yacu

Estación: Isca Yacu							Período: Año 1961-1990						
Parámetros(mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total Anual
P	2,5	4	9,4	27,7	66,7	95,2	137,1	103,2	107,5	40,1	11,9	7	612,4
EP	24,9	36,3	57,8	96,2	124,8	156,7	161,1	124,6	106,6	66,6	44	24	1023,6
P-EP	-22,4	-32,3	-48,4	-68,5	-58,1	-61,5	24	21,4	1	-26,5	-32,1	-17	-411,2
Almacenamiento	47,2	40,8	31,8	23,1	19,5	22,4	39,7	49,5	70,9	65,3	56,4	52,6	519,2
ER	7,9	10,4	18,4	36,4	70,4	92,2	120,6	93,4	81,6	42,7	20,8	10,1	605,1

Fig.24- Gráfico Columnar de Estación Isca Yacu

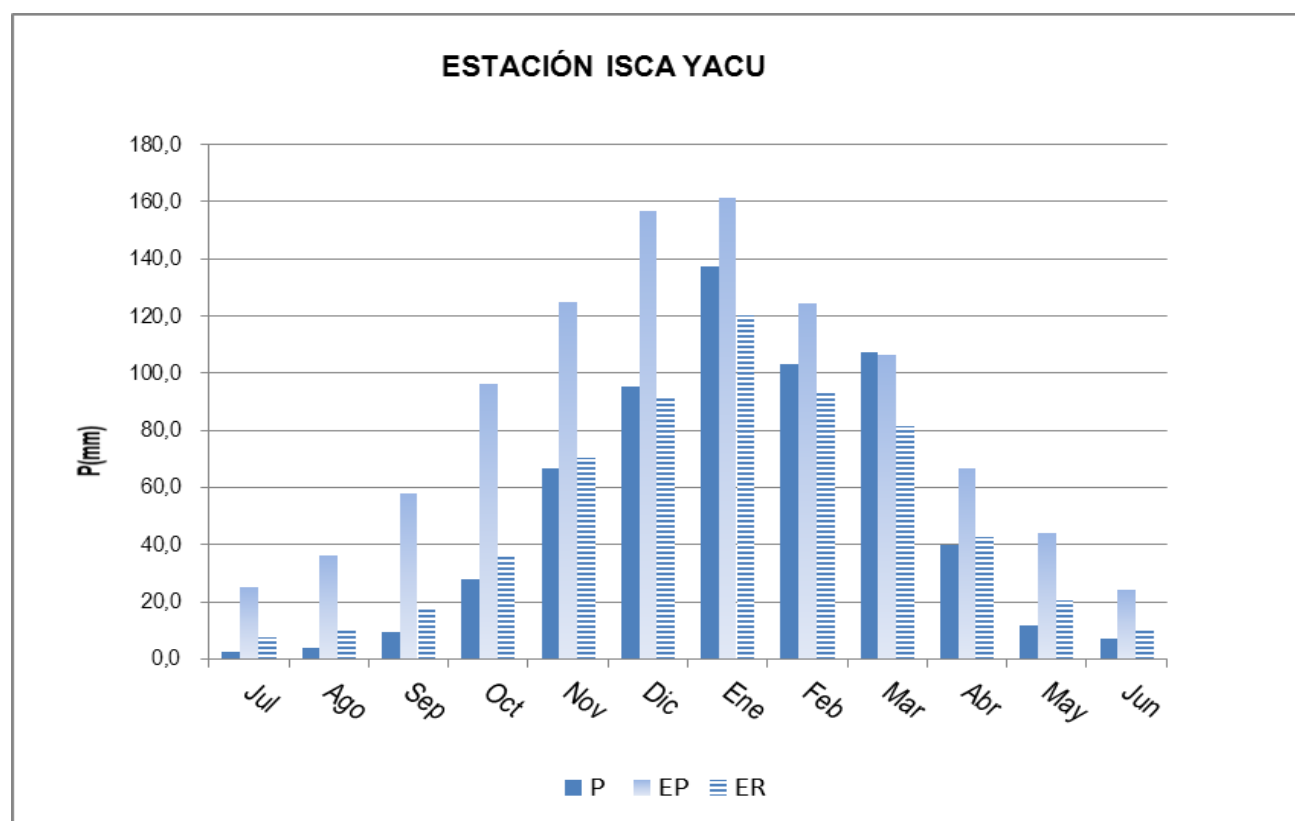
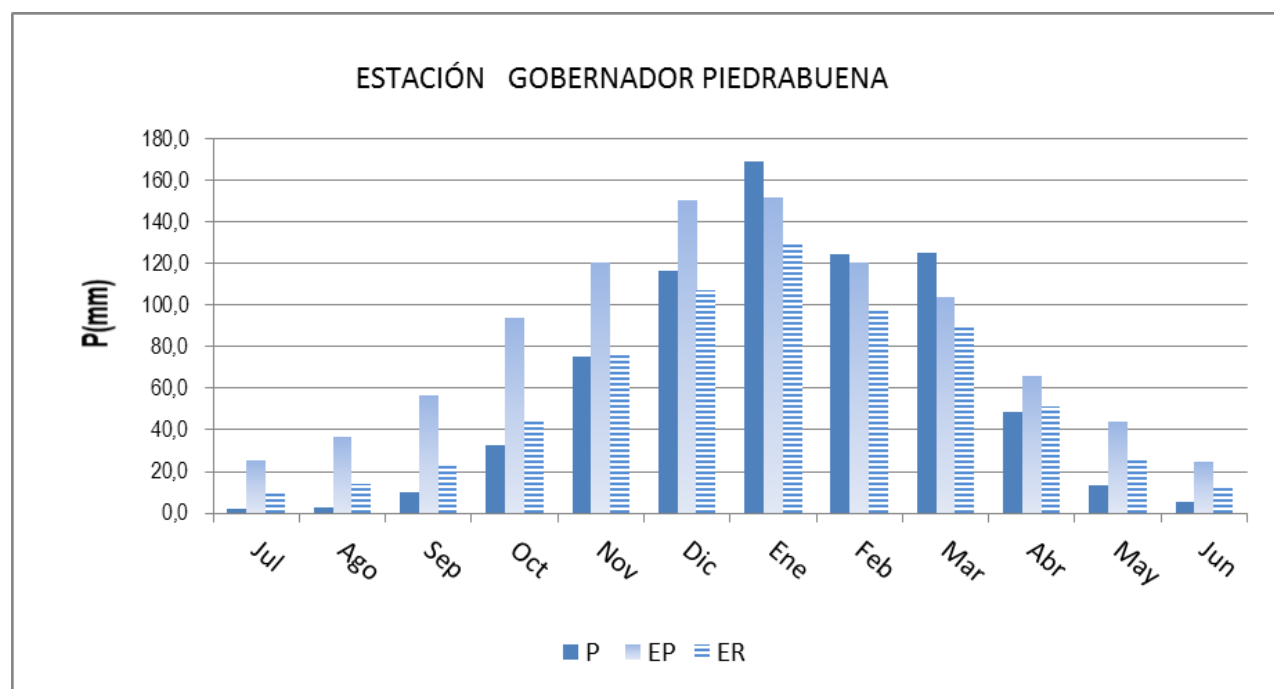


Tabla 12-Estación Gobernador Piedrabuena

Estación: Gobernador Piedrabuena													
Período: Año 1961-1990													
Parámetros(mm)	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total Anual
P	2,3	2,9	10,3	32,6	75,3	116,7	169,1	124,5	125,2	48,9	13,2	5,6	726,5
EP	25,3	36,4	56,7	93,7	120,4	150,4	152	120,3	104,1	65,9	44,1	24,5	993,7
P-EP	-22,9	-33,5	-46,4	-61,1	-45,1	-33,7	17,1	4,2	21,1	-17	-30,9	-18,9	-267,2
Almacenamiento	74,5	63,3	50,3	38,6	36,1	44,6	79	89,7	106,8	103,6	90,2	83	859,5
ER	10,9	14	23,2	44,4	77,7	107,3	129,5	97,5	90,9	51,4	26,4	12,7	685,9

Fig.25- Gráfico Columnar de Estación Gobernador Piedrabuena



5.3.1- Precipitación

Dentro del Ciclo Hidrológico el parámetro Precipitación es el ingreso de agua al sistema, es decir el componente primario.

Con los datos obtenidos se resolvieron los balances hídricos y se graficaron los histogramas (en un año hidrológico del área, donde se pueden observar los meses mayores precipitaciones correspondiente a períodos húmedos, y meses con precipitaciones medias a escasas corresponden a los períodos secos.

Tabla 13. Precipitaciones

Estaciones meteorológicas	Precipitación (mm)
Cruz Alta	1012
El Bracho	941,7
Los Ralos	878,5
Agua dulce	899
Lolita	892,8
Las Cejas	784,3
Tacanas	702,6
Isca Yacu	612,4
G.Piedra Buena	726,5

En el área de estudio se ubican las estaciones Lolita, Las Cejas y Tacanas que arrojan un promedio de 793 milímetros anuales y 66 mm mensuales, lo que indica que hacia el oeste las precipitaciones son mayores, y decrecen hacia el este con un promedio de 50 mm mensuales.

Con los datos de precipitaciones de estaciones meteorológicas del área se confeccionó el mapa de isohietas, que nos permitió calcular la altura media de la lámina de agua precipitada en la zona.

La altura media de la lámina de agua en una zona, es la altura que alcanzaría el agua si precipitara uniformemente en toda la cuenca en un lapso de tiempo determinado y permaneciera en ella sin escurrir, evaporar o infiltrarse (García, J. W.; 2005).

Cabe mencionar que existen tres métodos para calcular la altura de la lámina de agua; el método de la media aritmética, que es el más sencillo, pero con poca fiabilidad, los más elaborados, son el método de los polígonos de Thiessen y, el método de las Isohietas, con la siguiente fórmula:

$$V = P \times A$$

Donde V (Hm³) = volumen; P=precipitación (mm); A= área (Km²).

5.3.1. a MÉTODO DE LAS ISOHIETAS

Se utiliza éste método por considerarse el de mayor precisión, consiste en dibujar un mapa de isohietas sobre un mapa base georeferenciado a escala adecuada para el área de trabajo (Fig. 26). Dichas curva de isohietas se construyen extrapolando valores de estaciones meteorológicas contiguas y manteniendo una equidistancia regular, que permiten cubrir la cuenca con fajas entre isohietas distribuidas uniformemente.

Las superficies entre estas fajas fueron medidas usando las herramientas del programa Adobe Acrobat 8 Standard, sobre el mapa base a una escala conocida (1:200000).

Las superficies o áreas obtenidas entre dos isohietas consecutivas (faja), se multiplica por la semisuma del valor de ambas isohietas, obteniendo así los volúmenes parciales (1) hasta cubrir toda el área. Para realizar luego la sumatoria total de los Volúmenes y dividir en el Área total de la cuenca o zona, y así obtener el valor de la altura promedio de la Lámina de agua precipitada

$$1) \quad V(m)^3 = \frac{p1+p2}{2} A1 + \frac{p2+p3}{2} A2 + \frac{pn-1+pn}{2} An - 1$$

$$2) \quad P(mm) = \frac{V(Hm)^3}{A(Km^2)}$$

- ❖ Los resultados obtenidos indican que en el sector este, de la cuenca del Valle del Río Salí analizado, con un área que se aproxima a **550 km²**, precipita una lámina uniforme de agua de **822 mm**, lo que da un volumen total de **456 Hm³**.

Fig.26-Mapa de Isohietas

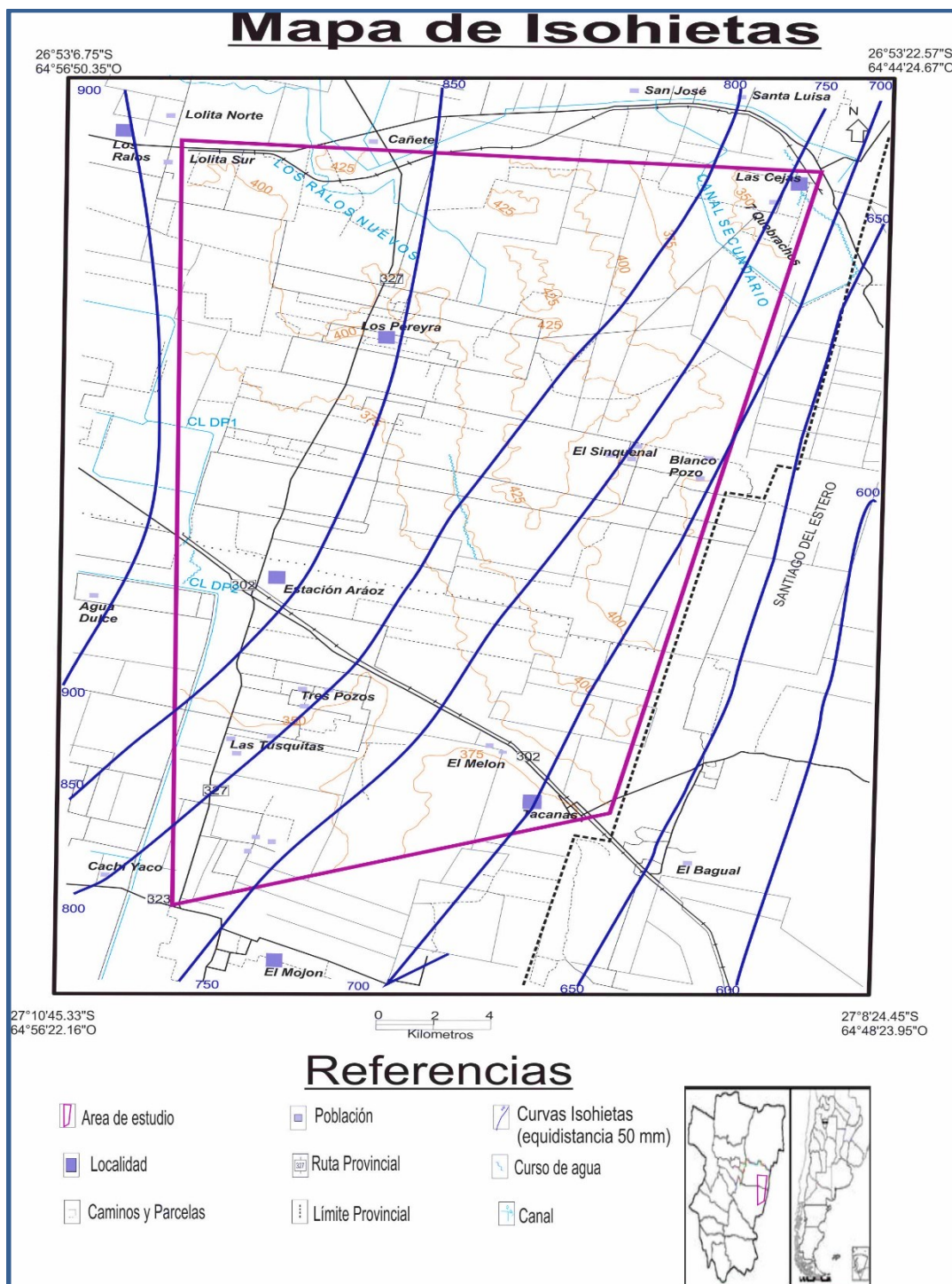


Tabla 14 Cálculo de volúmenes parciales de precipitaciones

Orden N°	Isohietra (mm)	Área (Km ²)	Volumen parcial (Km ³)
1	650-700	47,11	0.32
2	700-750	104,43	0,75
3	750-800	134,63	0,10
4	800-850	176,09	0,14
5	850-900	113,5	0,99

- ❖ El volumen total de la lámina de agua precipitada es **456 Hm³**
- ❖ El Área total es aproximadamente **555 km²**
- ❖ La lámina uniforme de agua precipitada para el área estudiada es **822 mm** .

5.3.2- Evapotranspiración

Thornthwaite (1948) fue el pionero en utilizar el término “Evapotranspiración Potencial” para referirse al volumen transpirado en una zona, considerando un óptimo desarrollo de vegetación y permanente disponibilidad de agua. Existen algunos métodos empíricos para determinarla, por ejemplo el Método de Penman, de Blaney-Criddle, de Thornthwaite.

“Evapotranspiración Real” es un término se introduce a partir que las condiciones planteadas anteriormente como ideales, poco probables o solo probables en suelos bajo óptimas condiciones de humedad, por lo tanto, las pérdidas de agua por evapotranspiración es lo que se llama evapotranspiración real, depende de los elementos climáticos, de las características del suelo y de la cubierta vegetal.

Evapotranspiración Real hace referencia al agua que realmente cumple un ciclo y vuelve a la atmósfera. Se calcula a partir de la Evapotranspiración Potencial (Tabla 15.), conociendo precipitación y la reserva de agua, información que también fue brindada por la E.E.O.A.C.,2016, junto a los demás parámetros climáticos

En área de estudio se encuentran las estaciones Lolita, Las Cejas y Tacanas que indican un promedio de 731milímetros anuales y 60 mm mensuales , se puede observar en la tabla 15,que hacia el oeste las evaporaciones son mayores , decreciendo hacia el este con un promedio de aproximado de 53 mm mensuales.

Tabla 15-Evapotranspiraciones

Estaciones meteorológicas	Ubicación	Er(mm)
Cruz Alta	AL oeste de la zona del seminario	815,4
El Bracho		814,7
Los Ralos		782,1
Agua dulce		798,5
Lolita	Dentro de la zona del seminario	780,3
Las Cejas		731,5
Tacanas		681,7
Isca Yacu	Al Este de la zona del seminario	605,1
Gob. Piedrabuena		685,9

Es necesario aclarar que para calcular las evaporaciones se utiliza método de Turc con la siguiente fórmula para cálculo de Evaporación Real:

$Er = \frac{p}{\sqrt{0.9 + (P+L)^2}}$; donde (Er) es evaporación real, (P) es la precipitación (L) es el poder evaporante de la atmósfera=300+25T+0.05T³ y (T) la temperatura.

5.3.2.a MÉTODO DE LAS ISOPLETAS

Es un método indirectos para para evaluar evaporación , los resultados también se expresan en mm, en el método de las Isopleas se procede de igual manera que el de las Isohietas , realizando el mapa de las Isopleas (Fig.5.4), que une puntos de igual evapotranspiración y extrapolando valores del parámetro Evapotranspiración Real del balance hídrico de las estaciones meteorológicas consideradas, se miden todas las áreas mediante el uso del software Adobe Acrobat 8.0 Standard hasta cubrir la superficie considerada y se aplican las mismas fórmulas 1) y 2) que en el método de las isohietas.

Entonces evapotranspiración será: $EVP(mm) = \frac{V(Hm)^3}{A(Km^2)}$

Fig. 27-Mapa de Isopleas

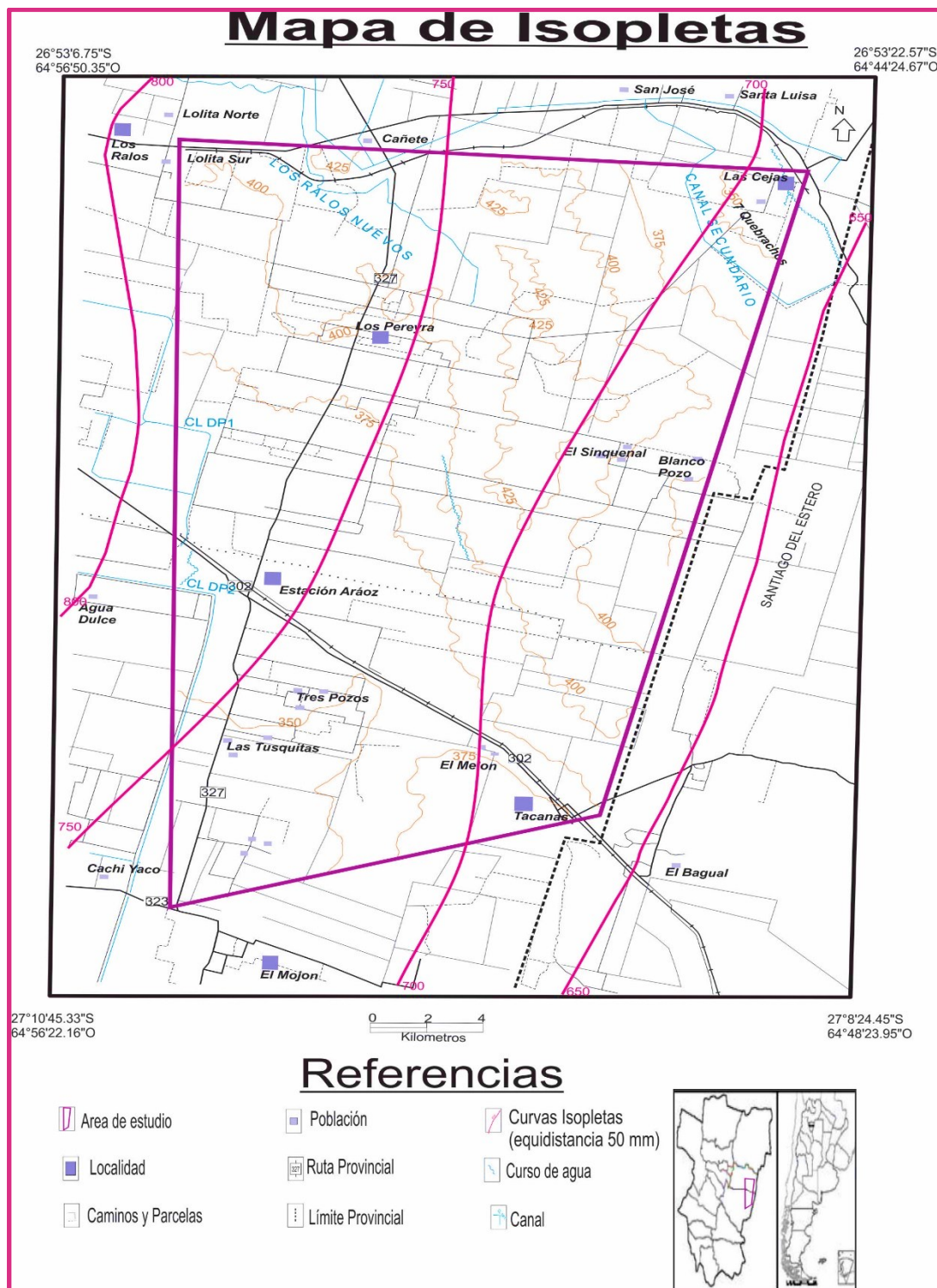


TABLA 16-Cálculo de Volúmenes Parciales de Evaporaciones

Orden N°	Isopletas (mm)	Área (Km²)	Volumen parcial (Km³)
1	650-700	147	0.100
2	700-750	252	0.184
3	750-800	143	0.12

- ❖ El volumen total de agua evaporada es **400 Hm³**
- ❖ El Área total estudiada en el seminario es aproximadamente **555 km²**
- ❖ La lámina uniforme de agua Evaporada para el área estudiada es **721 mm** .

5.3.3- Escurrimiento

Se define como aquella parte de la precipitación, del agua de deshielo y/o del agua de irrigación que no llega a evaporarse, sino que fluye hacia un cauce fluvial, desplazándose sobre la superficie dentro de una cuenca. Su cantidad o volumen también depende de diversos factores como es el caso de los parámetros meteorológicos anteriores, entre los más relevantes citaremos la duración de las precipitaciones, y los factores físicos de la cuenca como la pendiente del terreno tanto como profundidad de niveles freático , desarrollo de la cobertura vegetal, permeabilidad del suelo , extensión de red hidrográfica , etc.

En la zona estudiada no existen cursos de agua y es casi nula la escorrentía superficial y hay estaciones aforadoras. Como no se dispone de registros de caudales se consideró el escurrimiento con valor igual a cero (nulo), y asumiendo que el resultado de infiltración dependerá de los otros parámetros del balance hídrico.

5.3.4- Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua precipitada penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie (nivel freático o de saturación), y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, puede fluir por la pendiente o por efectos de la presión saturando los poros o espacios vacíos.

Influyen en la infiltración los siguientes factores entrada superficial, tipo de cobertura superior (suelo y vegetación), transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, características del medio permeable (porosidad y permeabilidad), y características del fluido.

Para el cálculo de la infiltración utilizaremos la fórmula del Balance Hidrológico:

$$I = P - R - Evp$$

- ❖ Con los cálculos obtenidos anteriormente de $P = 822 \text{ mm}$; $R = 0$; $Evp = 721 \text{ mm}$, se concluye lo siguiente:
- ❖ Para el área estudiada (555 km^2), a partir del cálculo del Balance Hídrico tendremos una $I = 101 \text{ mm}$.
- ❖ El porcentaje del valor de infiltración en la zona sería 12.28% del agua precipitada, dentro de la cuenca del Valle de Río Salí en una superficie de 555 km^2 perteneciente a la zona estudiada.
- ❖ Se puede asumir que el porcentaje anterior encierra valores de infiltración ya que el escurrimiento para esta zona de la cuenca es igual a cero ($R=0$).

5.4- HIDROGEOLOGIA

Para el análisis hidrogeológico fue necesario hacer una recopilación de datos de perforaciones en la zona de estudio, y en localidades vecinas. La información fue brindada principalmente por la Cátedra de hidrogeología de la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, como por entidades públicas provinciales: DPA (Departamento Provincial de Agua) y DRH (Recursos Hídricos).

Con esta información se realizaron planillas en Excel (ver en Anexo) con datos como profundidades, cotas, niveles dinámicos y estáticos, caudales y ubicaciones de filtros. Se realizaron tablas y gráficos comparativos de profundidades y caudales, mapa de isopiezas, mapa de los niveles estáticos y tres perfiles oeste- este y uno de norte a sur.

5.4.1-Descripción de las Perforaciones

En la zona de llanura oriental hay acuíferos surgentes en perforaciones por debajo de los 250 m.b.b.p. y con caudales de 150 a $200 \text{ m}^3/\text{h}$, se intercalan sedimentos arenosos de llanura aluvial, con otros limo-arcillosos de zona de interfluvios.

Con la información aportada, se pudo hacer una primera observación sobre la frecuencia de perforaciones, éstas siguen un patrón de acuerdo al uso de los pozos, ya que, en su mayoría son para consumo humano. Existe mayor frecuencia de perforaciones en las zonas de aglomeración urbana, citando por ejemplo, localidad Los Pereyra en primer lugar, Cañete, Las Cejas y Estación Aráoz entre otros, dentro de la zona de estudio. Bajo ese concepto podríamos afirmar que la cantidad de pozos decrece hacia el este, como es el caso de Blanco Pozo y Tacanas.

Se pudo constatar que, en general, sobre el total de los 52 pozos registrados, la mayor parte se utiliza para consumo humano y en menor medida para riego. En la zona analizada, predominan pozos de 100 a 175 metros de profundidad con caudales de bombeo dominante de $50 \text{ m}^3/\text{h}$, aunque existen muchos mayores llegando a los $250 \text{ m}^3/\text{h}$ y $300 \text{ m}^3/\text{h}$. Poseen caudales específicos de $39 \text{ m}^3/\text{h}$ y $46 \text{ m}^3/\text{h}$ respectivamente.

En cuanto a la **profundidad** de perforaciones, varían con una mínima de 87 metros de profundidad, (pozo Cañada de Viclos) hasta profundidades mayores como pozos: Tacanas y Blanco Pozo, tienen 280

metros. Se pudo observar que las mayores profundidades se encuentran cerca del alto estructural, Dorsal de Tacanas (la cual, atraviesa la superficie estudiada de NNW a SSE).

Las comparaciones de los datos volcados en tablas (tabla 17 y 18), con sus respectivos gráficos fueron realizados a fines de obtener una visual rápida de la distribución tanto de profundidad como de caudales de bombeo.

Se contó con un total de **52 perforaciones**, algunas perforaciones no cuentan con reseñas completas ya sea por antigüedad o falta de registros, los pozos poco profundos de hasta 100 metros corresponden al 7% del total, y los más profundos de 280 metros corresponden al 10% del total, los de mayor porcentaje se encuentran en profundidades de 150 a 200 metros (parajes como Lolita, Los Pereyra, Agua Dulce. A continuación, se puede visualizar en tabla y gráficos, lo expresado anteriormente.

Tabla 17 -Frecuencia y porcentaje de las profundidades de perforaciones.

cantidad de Pozos	profundidades (m)	%
3	0-100	7,00%
12	100-150	29,00%
8	150-175	19,00%
7	175-200	16,00%
8	200-250	19,00%
5	250-300	10,00%
=43		

Tabla 18-Distribución de Caudales

cantidad de Pozos	caudales ³ /h	%
25	0-50	52
10	50-100	20,83
4	100-200	8,3
9	200-300	18,75
=48		

Fig. 28- Porcentaje de la frecuencia de Peforaciones en el área de estudio sobre un total 43 perforaciones

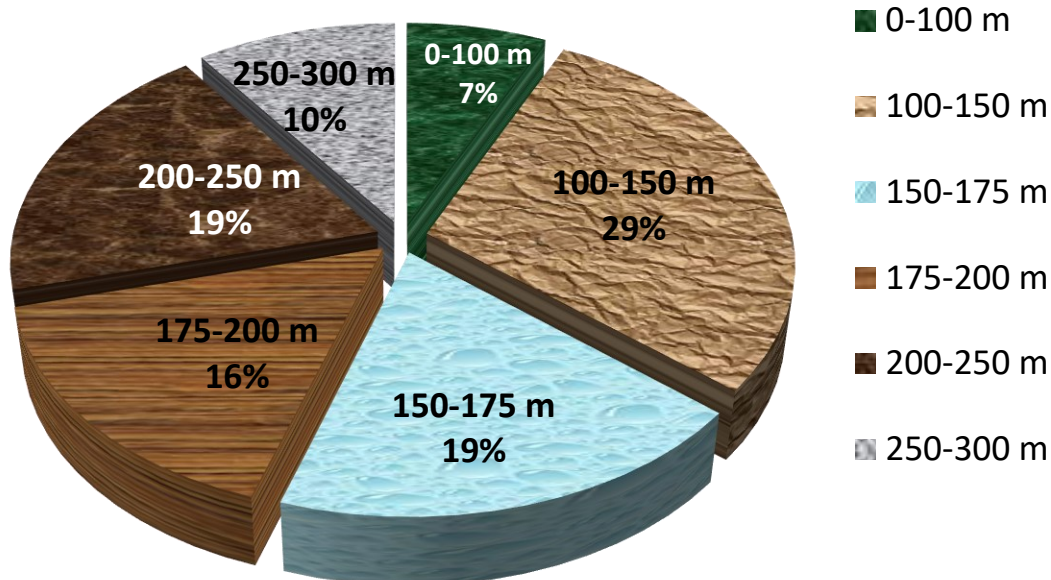
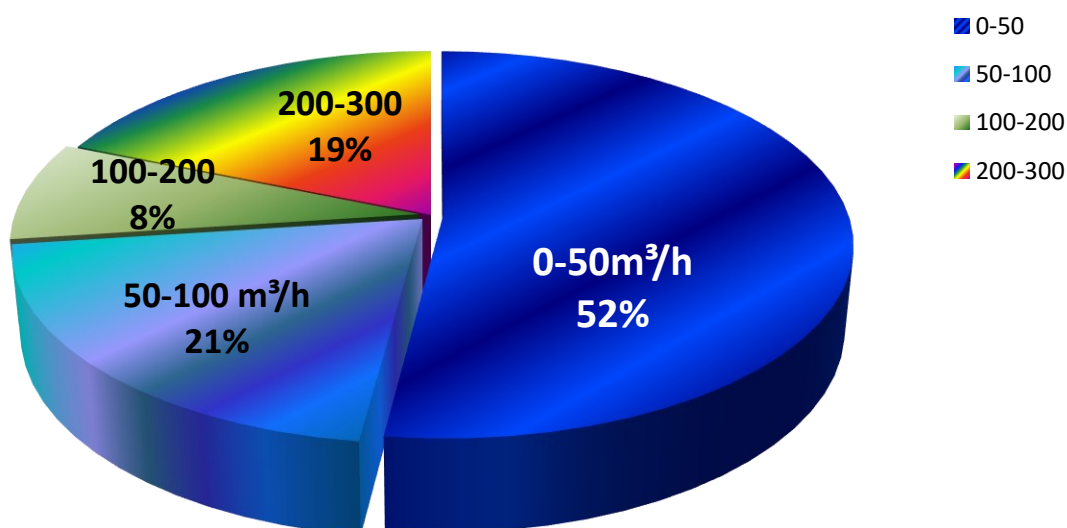


Fig. 29- Porcentaje Caudales de Bombeo en un total de 48 perforaciones



Con respecto a los **caudales de bombeo** los porcentajes son variables, se puede decir que a mayor profundidad de captación de acuíferos mayor será el caudal, como ejemplo de máximo caudal de bombeo dentro de la zona estudiada tenemos 300 m³/h, perteneciente al pozo en la localidad Siete Quebrachos, con profundidad de captación en 170 a 199 metros. Este análisis es importante ya que demuestra la mejoría de los acuíferos al aumentar la profundidad explotada en las últimas décadas, como se puede observar en las fechas de realización de pozos, los modernos son de mayor caudal, (Ver planillas en Anexo).

Como puede observarse en el diagrama una porción del 52% (25 pozos) del total, describen caudales de bombeo que varían de 0 a 50 m³/h, mientras el segundo dominio pertenece a caudales de bombeo de 50 a 100 m³/h con un porcentaje de 21 % (10 pozos), el porcentaje de menor valor 8% son datos (4 pozos) que tienen caudales de 100-200 m³/h y los de mayor caudal de bombeo 200-300 m³/h son 19% (9 pozos) del total, pertenecientes a pozos más modernos según el registro de realización, donde las captaciones de acuífero comienzan pasando los 130 m.b.b.p., mejorando el rendimiento.

En cuanto los caudales de rendimiento los registros son menores que los de caudales de bombeo, pero en línea general se cumple que a mayor profundidad aumentan los caudales específicos.

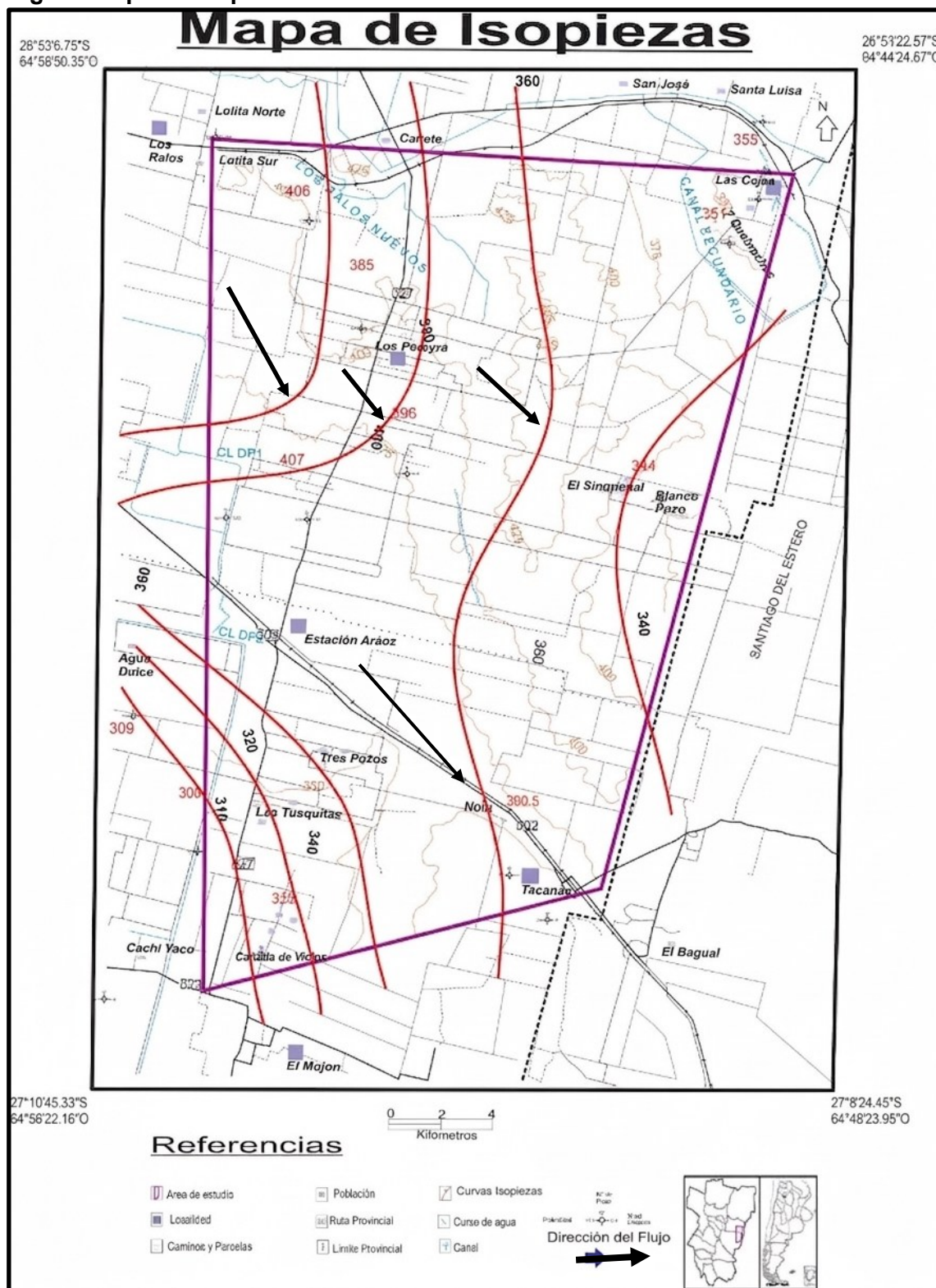
- **Cabe aclarar que los datos y conclusiones representan solo el área de trabajo, en forma parcial ya que son datos a veces incompletos.**

5.5-NIVELES PIEZOMÉTRICOS

- Los niveles estáticos son muy variables de oeste a este dentro de la zona, incluso dentro de una misma localidad, para pozos de poca profundidad, como para pozos de mayores profundidades como se puede observar en el mapa de niveles estáticos (Fig.30) existen valores negativos hasta -50 m.b.b.p., en localidades que se encuentran en la parte norte de la zona de estudio (San Agustín, Siete Quebrachos), mientras que hacia el sur los valores se encuentran sobrepasando la cota topográfica (zona centro-oeste y sur-este) marcando zonas de surgencia, como ejemplo, localidades de Cañadas de Viclos y parte sur de Los Pereyra nos encontramos con valores que van de 0 a +0.5 y hasta +5 metros sobre boca de pozo (m.b.b.p).
- Si realizamos un análisis del mapa de isopiezas (Fig.31): se puede observar que las líneas de Isopiezas son de forma plana –cóncava, indican la dirección del flujo (perpendicular a las isopiezas) hacia la zona de descarga, dirección predominante es noroeste- sureste.
- Notaremos que entro de la zona, los niveles piezométricos ubicados al norte, tienen valores en el orden de los 420, La disminución de esos valores se observa hacia la parte centro-este y sur-este, con descensos de valores piezométricos en el orden de los 310; en la franja central de la zona de estudio presentan valores de 360.

En la zona de estudio el análisis cualitativo de los niveles piezométricos y la tendencia general de las líneas de flujo subterráneo, permiten establecerla como zona de conducción hacia el sureste, donde se produce la descarga. Cabe aclarar que la particular presencia del alto estructural Dorsal de Tacana presente casi en el centro de la zona de estudio con dirección n-s provoca una distorsión del comportamiento del flujo.

Fig. 31-Mapa de Isopiezas



5.6- PERFILES HIDROGEOLÓGICOS DE SUBSUELO

De los registros de pozos, incluidas en el anexo, con un total 52 pozos dentro de la zona de estudio, se filtraron pozos que contienen información litológica completa y datos técnicos necesarios para elaborar perfiles geológicos de subsuelo y correlacionarlos con Sondeos Eléctricos Verticales, los cuales fueron programados estratégicamente en diferentes zonas, con este fin.

Cabe aclarar que, en las descripciones litológicas, dependiendo de la autoría, se pierden detalles de los paquetes sedimentarios, sobre todo los más cercanos a la superficie, donde se ubica el acuífero libre A. Haciendo abstracción de dichos detalles, es posible realizar una buena reconstrucción y correlación de las capas sedimentarias que conforman el subsuelo, para llegar a interpretar el sistema hidrológico en profundidad.

Se trazaron cuatro transectas de perfiles descriptas a continuación.

❖ Transectas con dirección oeste - este:

Perfil Geológico A-A' con 20 km de largo ubicado en la parte norte de la franja de estudio (ver mapa con ubicación de SEV y perfiles) , está compuesto por: SEV #3, pozo Lolita N3, pozo escuela 108 de Los Pereyra, SEV 1, SEV#1, SEV#2, pozo escuela Rafaela Pozo, y escuela provincial de Córdoba, ambas en localidad las Cejas .

Perfil Geológico B-B' con 17 Km de largo, ubicado en la parte central de la zona estudiada, compuesto por SEV#4, pozo la Salamanca Los Pereyra, pozo escuela Estación Agro-experimental Estación Araoz, SEV4, SEV2, SEV3, y pozo Blanco Pozo.

Perfil Geológico C-C' con 15 km de largo, ubicado en la parte sur de la zona de estudio, compuesto por pozo Cachi Yaco, SEV5, pozo Cañada de Viclo, SEV#6 , pozo El Melón y SEV5.

❖ Transecta con dirección Norte –Sur

Perfil Geológico D-D' con 30 km de largo , ubicado hacia la parte oeste de la zona de trabajo, compuesto por pozo Lolita N3, SEV1, pozo escuela 327 Los Pereyra, SEV4, pozo escuela Estación Agro-experimental Estación Araoz y SEV7.

- En todos los casos se intercalaron las perforaciones con los SEV interpretados (curvas).

Se puede constatar la ubicación tanto de SEV como de Perfiles Geológicos en el Mapa de Ubicación de Perfiles Geológicos y SEV, que se encuentra en el capítulo anterior Geoelectrónica

Para concluir la Unidad Hidrogeología con los perfiles geológicos, se realizó una separación de niveles de acuerdo a la similitud sedimentológica, verificando con la correlación de Geoelectrónica (SEV) a fin de ubicar a grandes rasgos niveles acuíferos con distintas características.

Se puede observar en los perfiles que siguen los distintos matices para identificar tres acuíferos: el superior (A), el intermedio (B), y, el inferior (C).

ACUIFERO SUPERIOR

Definido también como acuífero libre o freático, se encuentra desarrollado a poca profundidad, hasta los 40 metros de subsuelo, se lo puede observar en la mayoría de las columnas sedimentarias ocupando la parte superior (el cuál se identifica en las gráficas, con la letra A). Está compuesto por granulometría gruesa que va desde arena media a gruesa o grava. Este horizonte se encuentra separado del acuífero Intermedio por pocos metros y generalmente tiene como base, material limo-arcilloso y en algunos casos intercalaciones de material calcáreo como tosca.

Como se dijo, es un acuífero con características libres y está sometido a presiones atmosféricas en su parte superior, actualmente no es explotado a la hora de diseñar un entubado en las perforaciones y además se aísla mediante cementación anular ya que tiene posibilidades de contaminación antrópica, sin embargo, hay pozos antiguos o para riego, en distintas localidades de la zona que explotan este horizonte.

Se pudo constatar mediante la interpretación de los análisis químicos de pozos en la zona, que, en su mayoría se trata de aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas.

ACUÍFERO INTERMEDIO

Se puede observar en los perfiles, que el desarrollo del paquete de sedimentos (el cuál se identifica en las gráficas, con la letra B) es el mejor desarrollado en los perfiles. Tiene composición granulométrica con predominio de gravas y arenas gruesas, en algunos sectores se pueden observar sedimentos más finos como arenas gruesa a media. Se encuentra separado de los demás acuíferos por materiales limo-arcillosos o netamente arcillosos.

Las profundidades de desarrollo son desde los 40 metros hasta los 150 metros aproximadamente, circulan acompañando la pendiente regional. En la parte más alta se produce la principal recarga (zona oeste y noroeste de la provincia). Al tener buen desarrollo hace que sea muy explotado, ejemplo de ello es un pozo en los Pereyra de 135 metros de profundidad con un caudal de bombeo de 80 m³/h.

En cuanto a la química de las aguas se puede observar que son del tipo bicarbonatadas sódicas con mayor desarrollo del ión sodio hacia el este.

ACUIFERO INFERIOR

Se trata de un horizonte con material un poco más fino, donde se intercalan arenas finas a medias cuarzosas y arenas gravosas. El desarrollo del mismo se da a profundidades aproximadas del orden de los 100 o 140 metros en subsuelo (en las gráficas se lo identifica con la letra C). Si se correlaciona con los sondeos eléctricos verticales se puede observar un aumento de resistividad que presupone la presencia de este acuífero ya que en los perfiles no se observa su buen desarrollo ya que los datos analizados son de pozos viejos, de poca profundidad, cabe aclarar que actualmente se realizan perforaciones mucho más profundas con el fin de explotar este horizonte. Sin embargo algunos pozos

en localidades como Blanco Pozo , Las Cejas y Siete Quebrachos por ejemplo, tienen 200 a 280 metros de profundidad. Se puede observar caudales de bombeo con valores de 300 m³/h. Los registros de los análisis químicos de las aguas mostraron un aumento, en algunos casos, en el anión sulfato lo que dio como resultado aguas sulfatadas cálcicas, con una disminución de la concentración de sodio, aunque no sucede en general porque otras zonas son aguas de tipo cloruradas lo que indicaría un mayor tiempo de residencia es decir aguas más evolucionadas.

- ❖ En el área de trabajo, se pueden observar diferentes puntos con zonas de surgencia como localidades de Estación Araoz, Los Pereyra, Blanco pozo, Las Cejas entre otros.

En las siguientes gráficas (Fig. 32,33,34,35) se ha definido como acuífero (A) al Superior, como (B) al intermedio y como (C) al inferior. Representado una gráfica por perfil, donde se pueden observar los distintos acuíferos principalmente, como también sondeos eléctricos vertical, diagramas de stiff, las perforaciones (entubados y perfil granulométrico).

PERFILES :

- Fig. 32 Perfil Geológico A-A' ← Transectas con dirección oeste - este:
- Fig. 33 Perfil Geológico B-B' ←
- Fig. 34 Perfil Geológico C-C' ←
- Fig. 35 Perfil Geológico D-D ← Transecta con dirección Norte –Sur

PERFIL GEOLOGICO A-A'

OESTE **ESTE**

DORSAL DE TACANAS

Lolita N°3
Cota: 421 m
N.E.: 44.50
QB: 39.55 m³/h

Esc. 108-Los Pereyra
Cota: 385 m
N.E.: 0.1
QB: 30 m³/h

Esc. Rafaela Pozo Las Cejas
Cota: 377 m
N.E.: +5
QB: 50 m³/h

Esc. Provincia de Córdoba Las Cejas
Cota: 351 m
N.E.: +65
QB: 70 m³/h

SEV #3
SEV #1
SEV #2
SEV #4

10km
20km

REFERENCIAS

A Sedimentos finos conductivos
B Sedimentos de resistividad media
C Sedimentos gruesos resistivos

A Acuífero somero
B Acuífero semiconfinado
C Acuífero confinado

Suelo
Grava
Arcilla
Limo
Arenita fina a mediana
Arenita gruesa

Escala Vertical 1:20 metros
Escala Horizontal 1: km

Sondeos eléctricos verticales
Gráficos de Stiff

The profile shows a cross-section from West (Oeste) to East (Este). The topography is relatively flat, with a slight rise in the center labeled 'DORSAL DE TACANAS'. The subsurface is divided into three main units: A (Sedimentos finos conductivos), B (Sedimentos de resistividad media), and C (Sedimentos gruesos resistivos). Unit A is the uppermost layer, followed by B, and then C. The profile also shows the locations of four wells: Lolita N°3, Esc. 108-Los Pereyra, Esc. Rafaela Pozo Las Cejas, and Esc. Provincia de Córdoba Las Cejas. Each well has its elevation (Cota), North-South coordinates (N.E.), and discharge rate (QB) listed. The profile is divided into four sections by vertical lines, each with a well log (SEV) and a Stiffness graph (Gráfico de Stiff). The horizontal scale is 1: km, and the vertical scale is 1:20 metros.

Fig. 33-Perfil Geológico B-B’

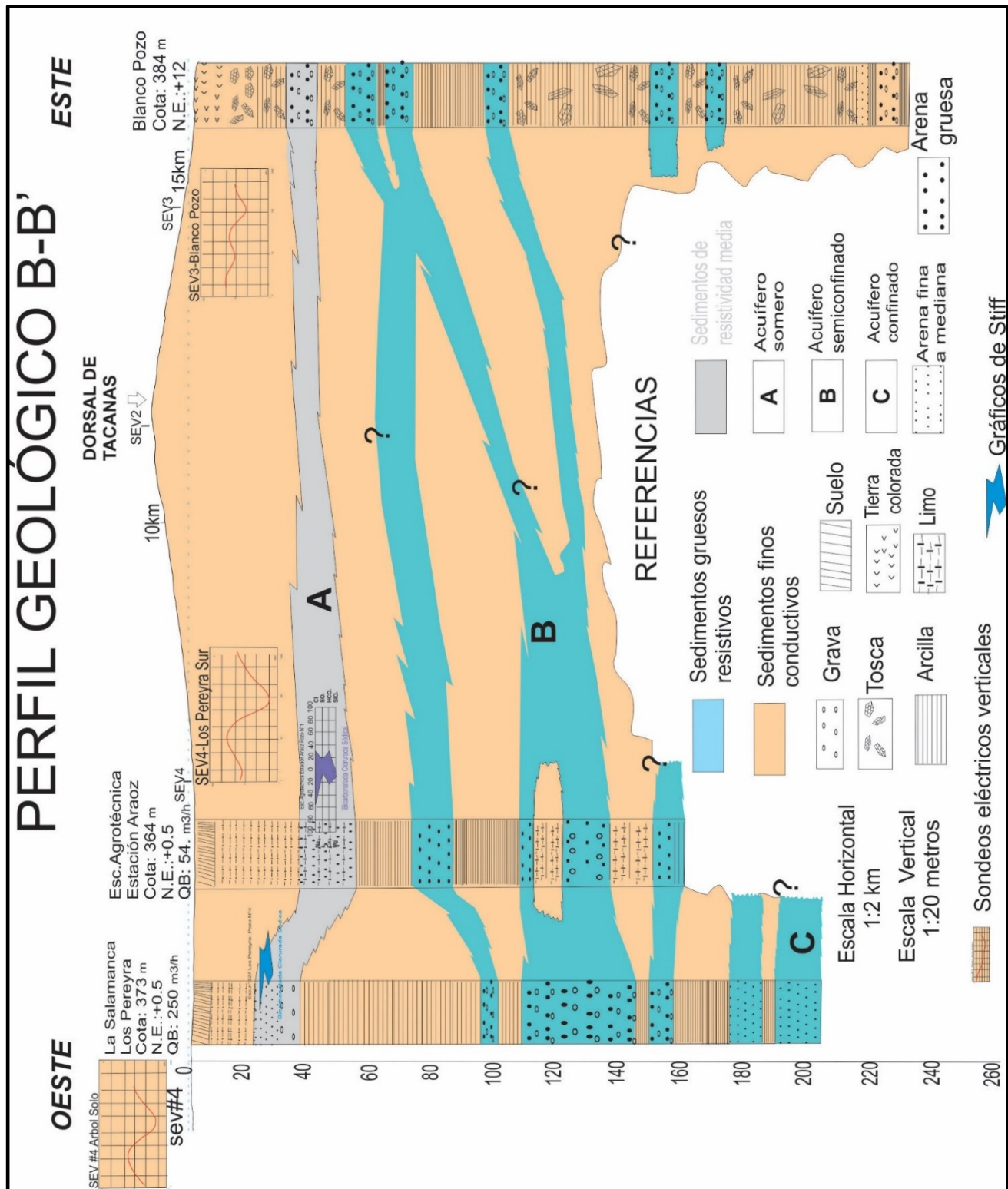


Fig. 34 Perfil Geológico C-C’

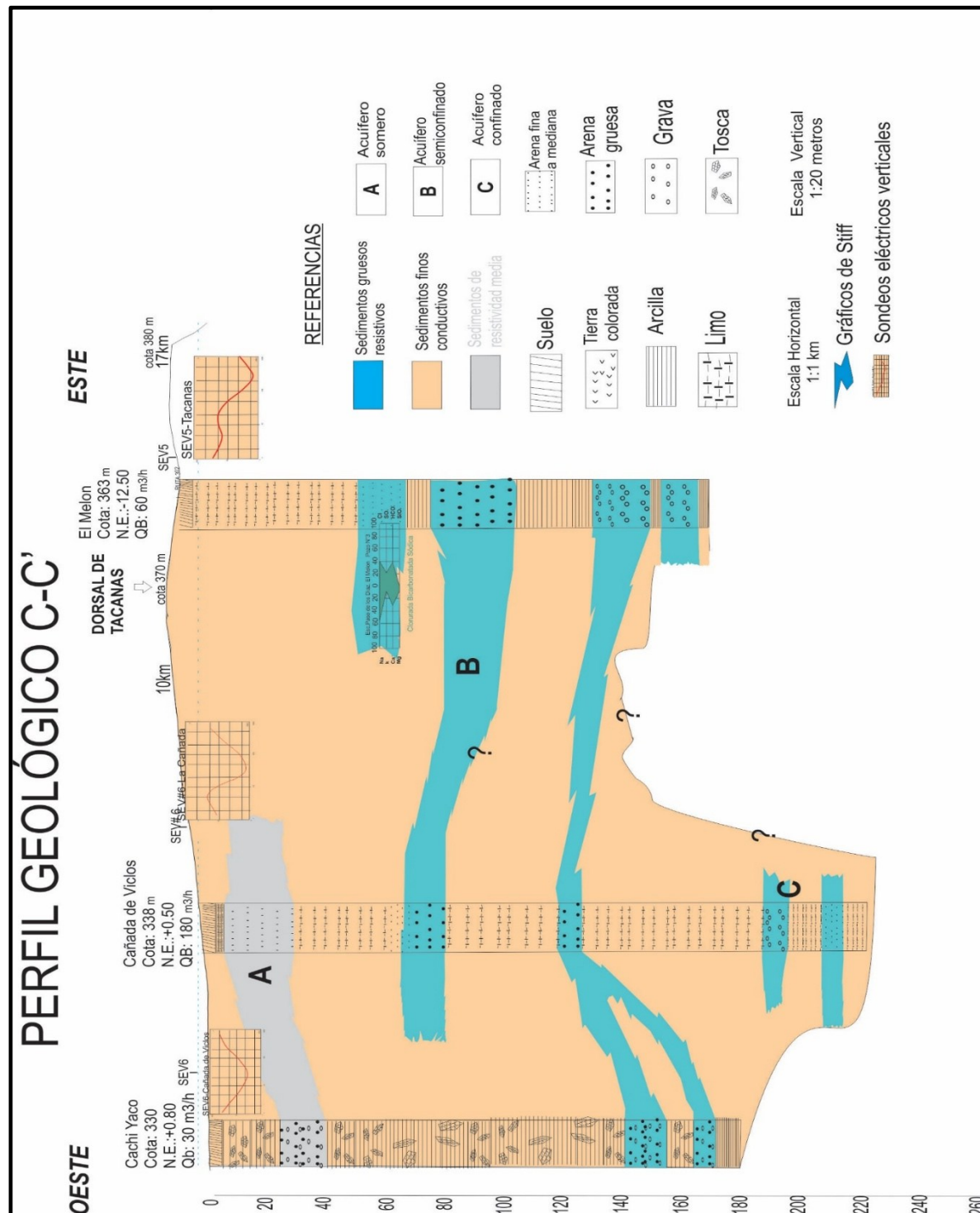
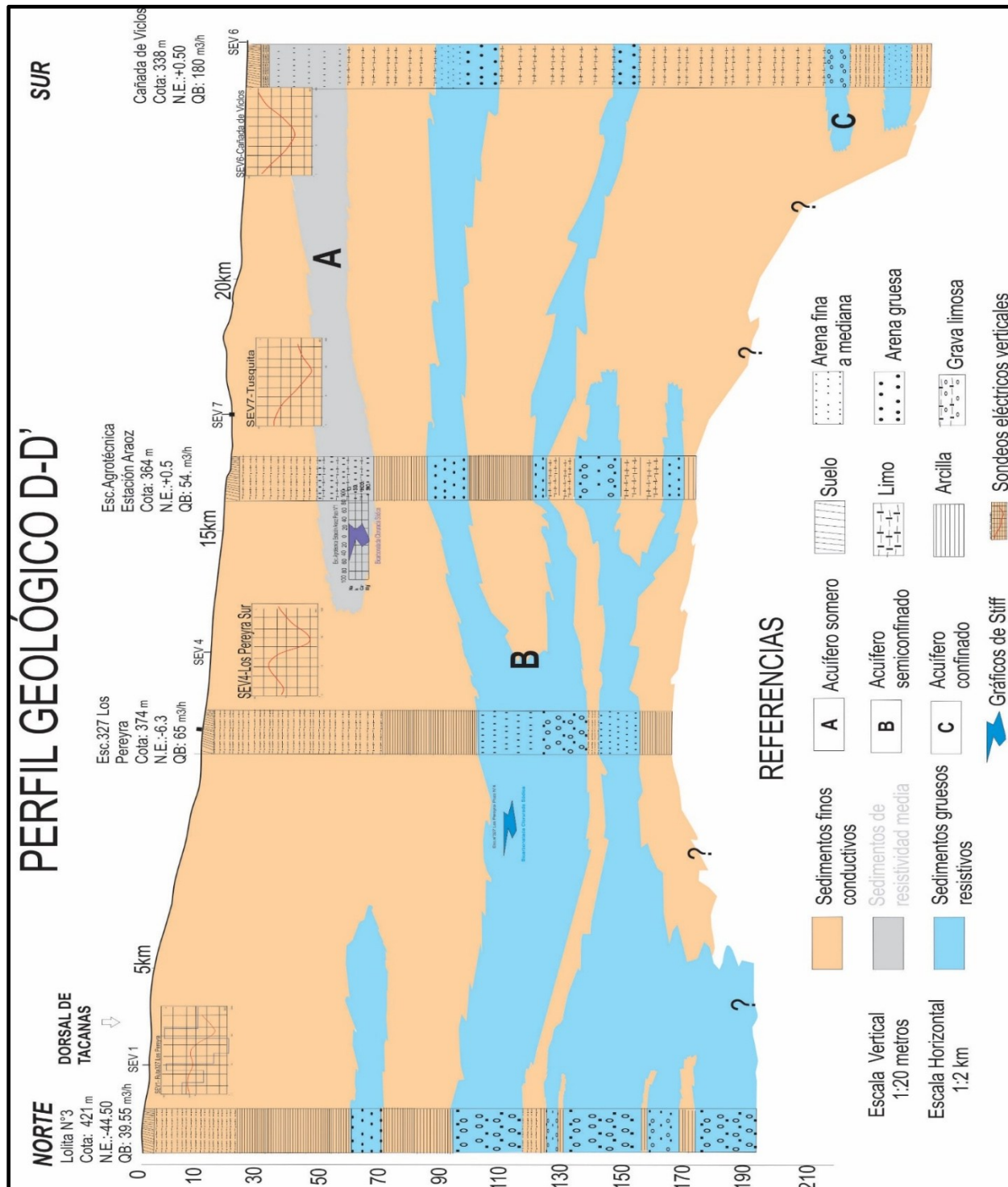


Fig. 35 Perfil Geológico D-D'



5.6- MODELO HIDROGEOLÓGICO DE ÁREA DE ESTUDIO

Es la representación simplificada del sistema de circulación del agua subterránea.

Con este modelo se pretende mostrar las interrelaciones entre las aguas superficiales y sus transferencias a sistemas acuíferos más profundos, pasando por un conjunto de procesos que actúan desde su recarga y su circulación a niveles profundos.

Como se expresó en la introducción, la zona de estudio se encuentra dentro del área del valle del Río Salí, que pertenecen a la provincia hidrogeológica Tucumano- Santiagueña, al sector de la Vertiente Occidental de la Sierra de Guasayán y Lomadas de Cañete- Tacanas.

En el área de estudio, se puede interpretar mediante el mapa de Isopiezas, que la circulación del agua subterránea, proviene desde áreas montañosas norte, noreste, donde el flujo se desplaza por sedimentos permeables pendiente abajo hacia las zonas topográficamente más bajas, con materiales finos,

La particular presencia del espolón de Tacanas, dificulta realizar una única interpretación las isopiezas, y de las direcciones de flujo de agua subterránea, por lo que sería interesante agregar en el futuro una investigación con datos actualizados y nuevos gráficos, con sus interpretaciones.

Se puede interpretar que la zona coincide en general con la circulación del flujo de agua subterráneas de la provincia desde zona montañosa hacia la llanura, la zona de trabajo, compuesta en gran parte por sedimentos finos, (potentes niveles arcillosos y limosos) actuando como zona de conducción , la presencia de estos materiales finos a muy finos ,aumentan la salinidad y cambia la composición iónica, las aguas en ésta zona ,comúnmente son bicarbonatadas cloruradas sódicas, la proporción de sodio sigue aumentando a medida que avanzan hacia el este, la geoquímica se desarrolla ampliamente en el próximo capítulo.

CAPITULO VI

HIDROQUÍMICA

6.1 -INTRODUCCIÓN

La Hidroquímica es la ciencia que estudia las características químicas del agua subterránea, aportando valiosa información sobre el origen y distribución así como sus características físicas –químicas y ambientales.

Existen abundantes antecedentes en el área de estudio sobre los que se los mencionará por ese motivo se desarrolló este capítulo desde la etapa del Análisis químico, interpretando datos que fueron aportados principalmente por la Cátedra de Hidrogeología, de la Facultad de Ciencias Naturales e I.M.L., extraídos de los seminarios de Ángela Torres y Alex Elías, Pozos con análisis químico aportados por los geólogos: Mario Colqui de la Dirección Provincial del Agua (DPA) y Adrián Ruiz de la Dirección de Recursos Hídricos de Tucumán y empresas privadas como Producción S.A., aportadas por el doctor A. Tineo, entre otros.

Los resultados de estos análisis fueron volcados en los distintos diagramas con el fin de poder comparar las aguas entre sí y poder definir los tipos y calidades. Para este trabajo se usaron el Diagrama de Stiff (permite conocer la predominancia de los iones mayoritarios); el Diagrama de Piper Hill Langelier (permite conocer el carácter de las aguas analizadas) y el Diagrama de Wilcox (clasifica el agua de acuerdo a su aptitud para riego). Más adelante se explicará en detalle los usos de cada uno de ellos.

En las etapas de salidas de campo que se realizó en el presente seminario, se tomaron las medidas de algunos parámetros físicos del agua, como, Conductividad, PH y temperatura en zonas surgentes, como se puede observar en la siguiente figura.

Fig.36-Toma de Conductividad en la localidad de Blanco Pozo



6.2-METODOLOGÍA

Una forma correcta y más ordenada de analizar los datos aportados fue, creando una planilla que se puede consultar en el Anexo, de los pozos analizados y sus parámetros físico-químicos, separándolos luego en pozos de poca profundidad y pozos más profundos. Los parámetros más utilizados para el análisis de agua son: Potencial de hidrógeno (PH), Conductividad eléctrica, Sólidos totales disueltos (TDS), Alcalinidad, y concentración de iones mayoritarios. De éstos datos se realizaron tanto para pozos someros como pozos profundos:

-clasificación de aguas de acuerdo a la proporción de aniones y cationes: Diagrama de Piper y Stiff y Mapa donde se puede apreciar variación espacial de concentración iónica de los acuíferos.

-clasificación del agua de acuerdo al uso para riego: Diagrama de Wilcox.

6.3 -COMPOSICIÓN IONICA

Los análisis químicos son muy diversos, para conocer las propiedades químicas más importantes del agua se procede a determinar iones fundamentales

-Cationes: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+

-Aniones: HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- , $\text{NO}_3^{=}$

Estas sales predominantes o mayoritarias se encuentran en estado iónico como cationes o aniones y sus concentraciones son más del 90% de la composición total del agua.

-Concentraciones menores a 0.1 mg/l, elementos trazas en éste trabajo se consideró solo el valor de arsénico (As), incluidos en los análisis químicos de aguas, por ser considerado un contaminante natural asociado a los sedimentos cuaternarios.

6.3.1- Diagrama de Piper y su interpretación

Para caracterizar y/o clasificar la composición iónica de las aguas utilizaremos el Diagrama de Piper-Hill-Langelier (1948) donde las aguas geoquímicamente similares quedarán agrupadas en áreas definidas (Custodio 1965).

En éste diagrama se representan las concentraciones tanto de aniones como de cationes expresadas en % de miliequivalente por litro. La conversión es una sencilla ecuación:

$$r\% = \frac{100 \cdot r}{c} \quad r: \text{cantidad de reacción de los elementos en meq/l}$$

c: concentración de equivalentes (Σ de aniones o cationes en meq/l).

El diagrama tiene dos campos triangulares en donde se grafican la concentración de los iones (cloruros, sulfatos, Carbonatos y Bicarbonatos en cada vértice) y en el triángulo izquierdo, van los cationes (sodio-potasio, calcio y magnesio en cada vértice). Normalmente como en las aguas naturales no hay carbonatos, solo se grafica bicarbonatos

La proyección de cada punto de los triángulos en un rombo central da un punto que indica la composición iónica mayoritaria de las aguas, clasificándolas a partir de esta distribución en

a- Aguas sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas.

b- Aguas bicarbonatadas y/o magnésicas

c-Aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas

d- Aguas bicarbonatadas sódicas

❖ Interpretación

Para realizar el gráfico se hizo un filtro de datos de aniones y cationes de la planilla química (Ver anexo) y se aplicó fórmula antes descripta, de lo que se obtuvieron los siguientes resultados para volcar en diagramas. Cabe aclarar, por una parte, que de las siguientes tablas los pozos indicados con un color son menos profundos (100-200) y en la segunda tabla que pertenecen a los cationes faltan localidades de Tres pozos y Blanco Pozo, por ausencia de datos.

Tabla 19- Porcentajes de meq/l de aniones de pozos profundos y someros de la zona de estudio

Anión	1 Esc.Agrotec. E. Araoz	2 Agua Dulce	3 Esc. - El Melón	4 Esc.N327 Los Pereyra	5 Esc. A. Soldado C.	6 Tres Pozos	7 Tres Pozos	8 Blanco Pozo	9 Blanco Pozo
HCO ₃ ⁼ "r%"	38,3	41,81	37,15	50,7	27,44	43,32	30,96	89,41	33
Cl ⁻ "r%"	38,3	3,69	39,7	29,59	10,05	36,25	43,92	2,69	17,69
SO ₄ ⁼ "r%"	23,4	21,2	23,13	19,7	62,47	20,41	25,1	7,88	49,3
Cl ⁻ +SO ₄ ⁼	61,7	24,89	62,83	49,29	72,52	56,66	69,02	10,57	66,99

Tabla 20- Porcentajes de meq/l de cationes de pozos profundos y someros de la zona de estudio

Nombre del pozo	Ca ⁺⁺ "r%"	Mg ⁺⁺ "r%"	Na ⁺ "r%"	K ⁺ "r%"	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	Na ⁺ + K ⁺
1 Esc. Agrotec. Estación Araoz	24,41	8,24	62,05	5,29	32,65	67,34
2 Agua Dulce	23,6	8,53	57,44	10,42	32,13	67,86
3 Esc. Paso de los Díaz- El Melón	27,78	8,56	57,75	5,89	36,34	63,64
4 Esc. N 327 Los Pereyra	26,32	9,64	59,93	4,11	35,96	64,04
5 Esc. Agrotec. Soldado Cajal	46,71	4	44,87	4	50,71	48,87

Composición Iónica de Acuíferos Libres

La composición iónica de las aguas dentro de la zona varía de oeste a este, sobretudo en la parte central de la zona que es donde se cuenta con más datos. Las aguas son Bicarbonatadas Cloruradas sódicas en localidades de Agua Dulce, Los Pereyra Sur, y Tres Pozos y Cloruradas Bicarbonatadas Sódicas en Estación Araoz

Esto refleja una mayor evolución de aguas subterráneas en la parte este del área de estudio como así también un mayor tiempo de residencia en los sedimentos en caso de las cloruradas.

Composición Iónica de Acuíferos Profundos

En la composición iónica de las aguas de acuíferos profundos se puede observar una variación más acentuada de oeste a este, sobretudo en la parte central de la zona de estudio. Se clasifican Cloruradas Bicarbonatadas sódicas en localidades de El Melón, Sulfatadas Sódicas en la parte norte del área estudiada (Escuela Soldado Cajal, Las Cejas) y en Localidad de Blanco Pozo existe una variedad de Bicarbonatadas altos porcentajes de este elemento a Sulfatada Bicarbonatada.

Una peculiaridad importante es que a elevados contenidos de sulfatos, corresponden restringidas cantidades de cloruros y viceversa; manifestándose notoriamente este fenómeno cuando las concentraciones de algunos de ellos sobrepasa los 300 mg/l (Balegno de Martínez; Vergara, 1985). En ambas localidades clasificadas como aguas sulfatadas se registraron proporciones de sulfatos que sobrepasaban los 300 mg/l, se puede constatar en planilla química del capítulo Anexo.

Fig. 37- Diagrama PIPER para Acuíferos poco profundos

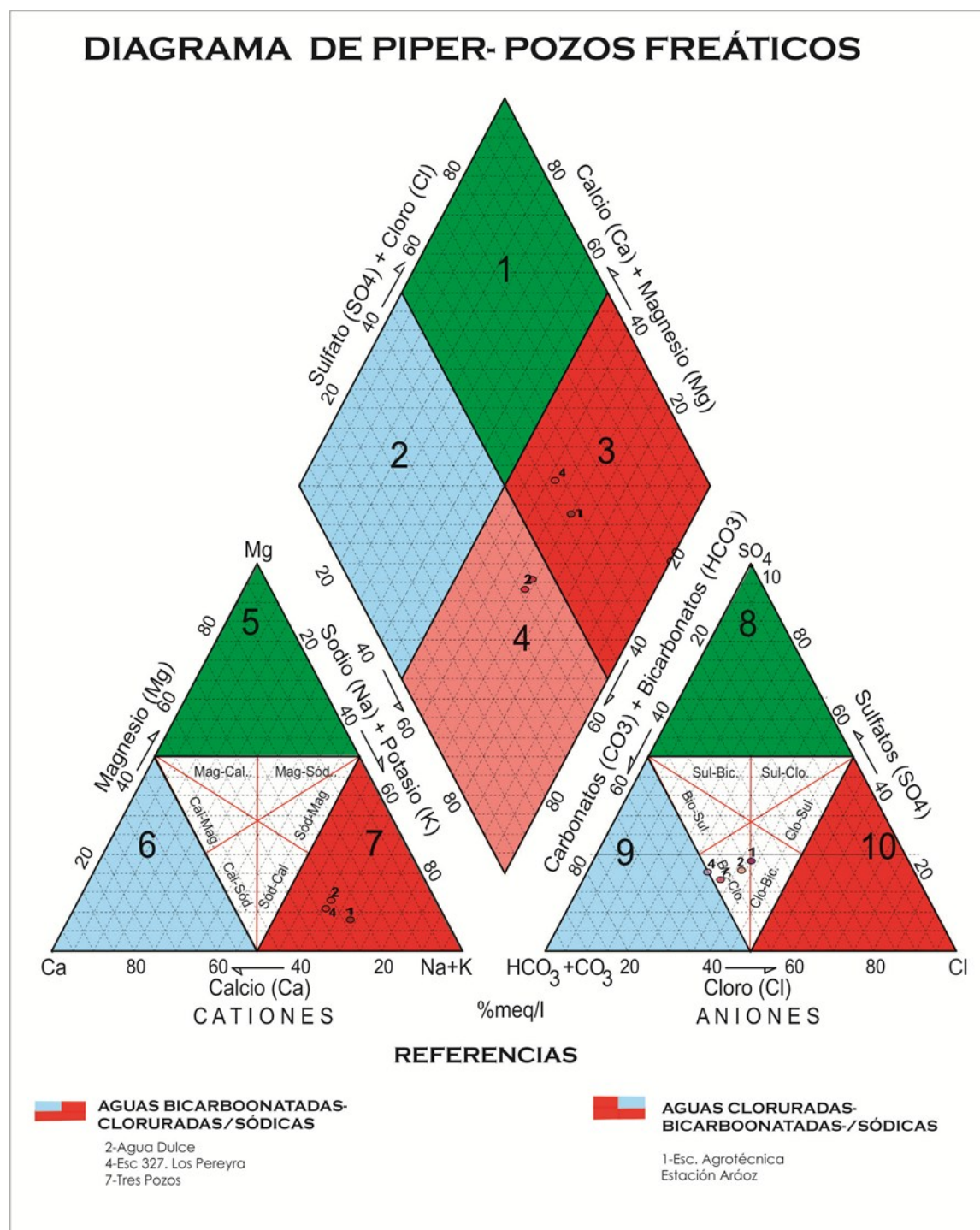
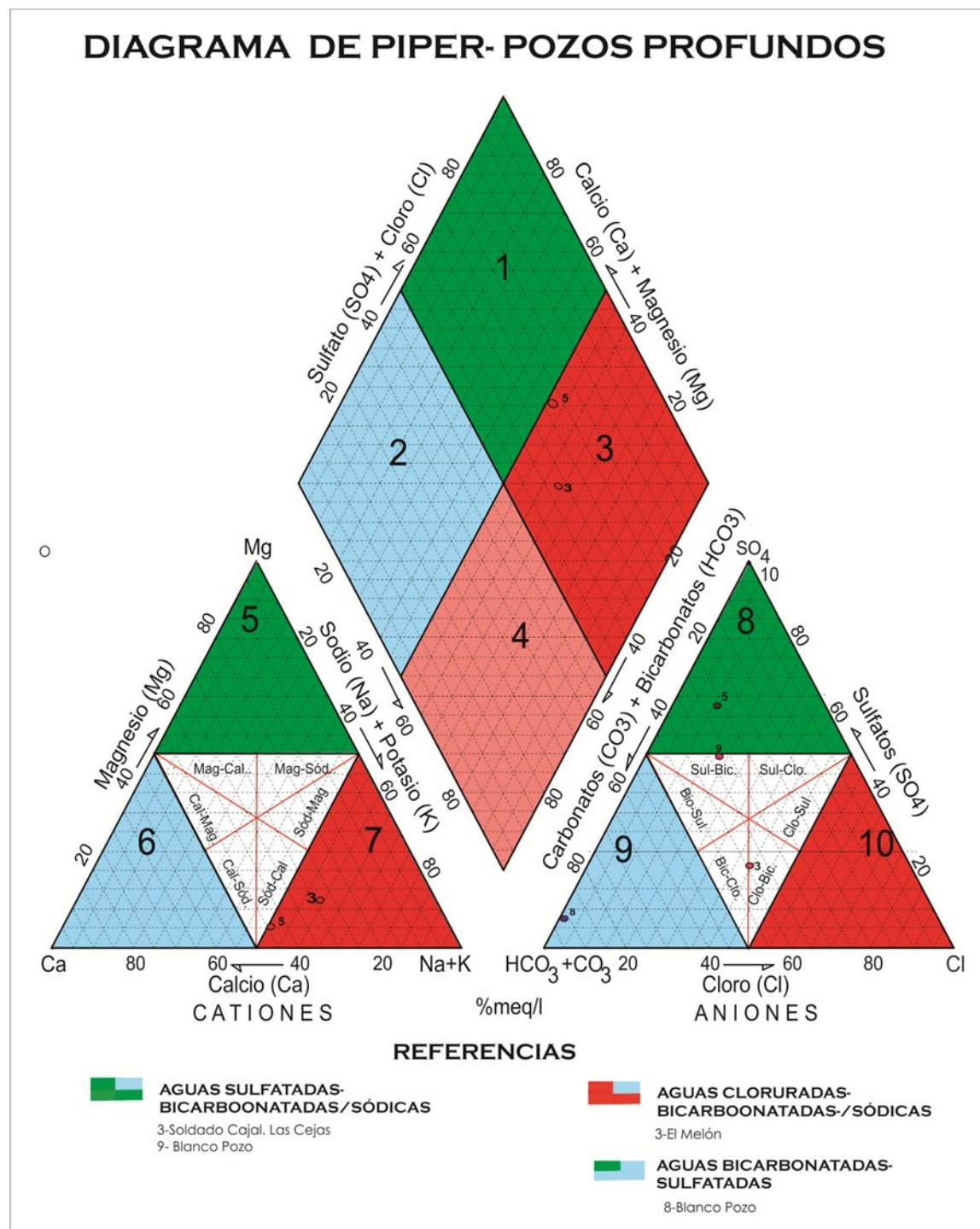


Fig.38 Diagrama PIPER para Acuíferos profundos



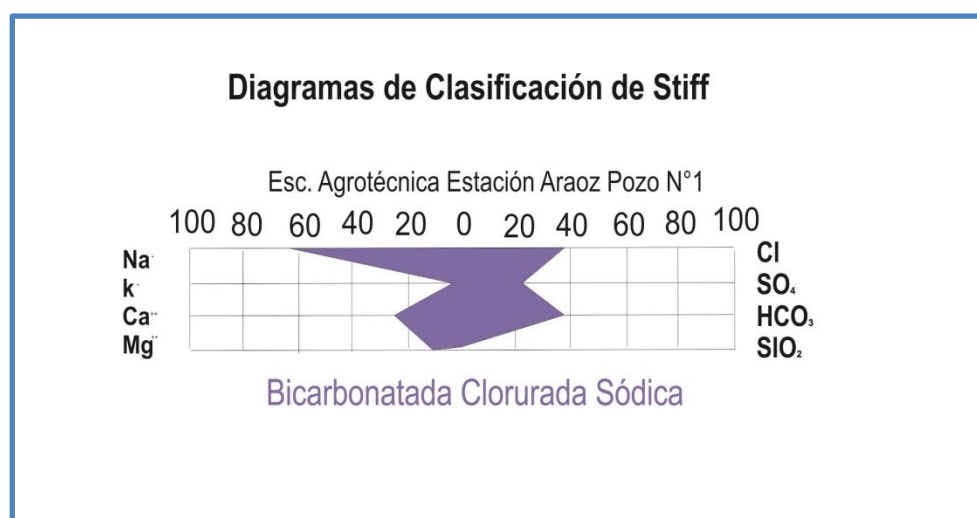
6.3.2- Diagrama de Stiff y su interpretación

Otra forma de determinar las composiciones iónicas de las aguas subterráneas es utilizando el diagrama de Stiff(1951), son gráficos sencillos para cada pozo analizado .

Consta de un campo dividido en dos con valor de 0 como eje axial, hacia la izquierda se colocan los cationes en % de meq/l y hacia la derecha los aniones en %meq/l, cada ion es ubicado independiente en las dos columnas de ambos lado del eje principal y a cada ion se gráfica una por la misma línea en según el valor que corresponda, formando un polígono (Fig.6.4). Los gráficos de cada pozo se pueden observar en el Anexo del seminario.

Se representaron los polígonos en un mapa (Fig6.4), para apreciar la variación espacial de la concentración iónica de aguas subterráneas.

Fig.39- Ejemplo de Diagrama de Stiff con la composición iónica de un pozo

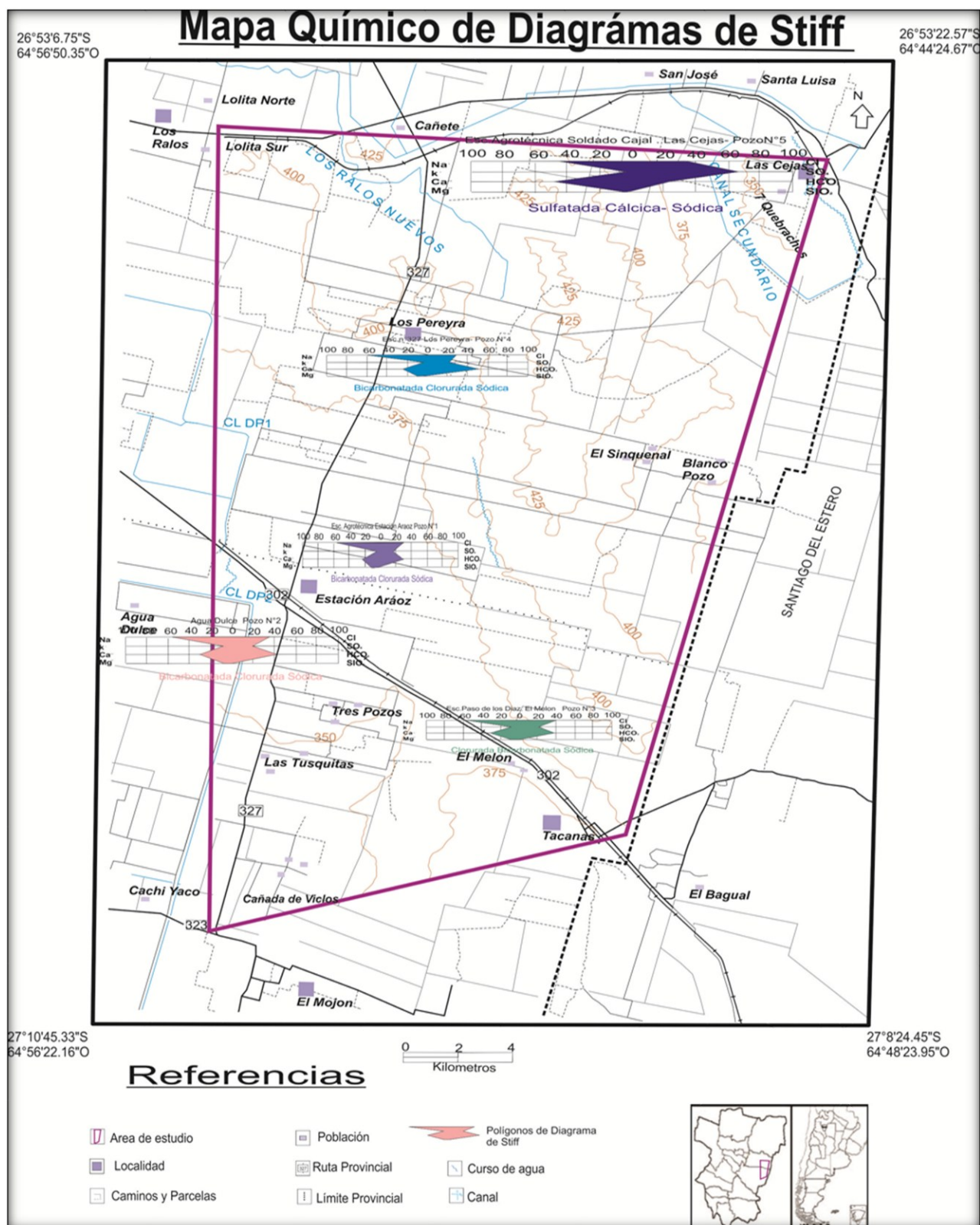


Composición Iónica de Acuíferos

Se observa al representar los datos químicos en los diagramas de Stiff que existe una evolución de las aguas subterráneas de oeste a este. Se clasifican en cloruradas principalmente como es el caso de El Melón, la mayoría de las clasificaciones son de aguas bicarbonatadas, pero en esta clasificación toma importancia la zonación catiónica dejando observar concentraciones importantes que en el Diagrama de Piper no se apreciaban, como es el caso del pozo de Soldado caja, Las Cejas, posee una importante concentración del ión calcio.

Cabe aclarar que en el presente trabajo no se contaba con todas las concentraciones de cationes para cada pozo de la planilla química por lo que fue imposible realizar ésta clasificación para pozos profundos a excepción del pozo de las Cejas, nombrado anteriormente.

Fig. 40. Mapa de representación iónica de Diagrama de Stiff



6.3.3- Iones Mayoritarios

Dentro de los aniones con mayor importancia se encuentran Bicarbonatos y Carbonatos, Sulfatos y Cloruros, los cuáles se desarrollan a continuación.

❖ BICARBONATOS Y CARBONATOS

Ambos dependen del PH del medio en el que se encuentran, la especie dominante es el bicarbonato ya que subsiste en aguas con PH 7 a 8.3. El bicarbonato constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad, siendo un excelente amortiguador para contaminación de aguas dulce.

En las aguas de la zona las concentraciones de bicarbonato son bajas con valores de 150 a 230 mg.L⁻¹. El bicarbonato con mayor proporción se encuentra hacia el este del área de estudio en la parte más próxima a la Dorsal de Tacana (localidad de Blanco Pozo) con una concentración de 567 (mg.L⁻¹).

❖ SULFATOS

Las concentraciones del ión sulfato son muy variadas, se puede apreciar valores que van de 135 a 178 (mg.L⁻¹), sin embargo hay una elevada concentración en la parte noreste y centro-oeste del área de estudio en las localidades de las Cejas se registran valores de 497(mg.L⁻¹), y 475 (mg.L⁻¹) en la localidad de Blanco Pozo.

❖ CLORUROS

El ión cloruro permite estimar en base a su concentración el tiempo de residencia del agua en la cuenca. La zona de estudio muestra variaciones que van de 126 a 257(mg.L⁻¹), con excepción de una concentración muy baja en la muestra de localidad de Blanco Pozo lo cual coincide con alta proporción a sulfato ya que a mayor concentración de un ión disminuye el otro y viceversa.

En general a medida que las aguas se alejan del área de recarga se observa un incremento en el contenido de cloruros debido al mayor tiempo de residencia del ión en los sedimentos, lo que estaría indicando también una mayor evolución de las aguas. El problema de este ión es que puede llegar a ser corrosivo, por lo cual debería tenerse en cuenta si está presente en elevadas concentraciones. Dentro de la zona de estudio a partir de los diagramas se observó que mayoría son aguas bicarbonatadas cloruradas.

Dentro de los cationes con mayor importancia se encuentran el Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio, los cuales se desarrollan a continuación.

❖ CALCIO

Es el catión dominante en las aguas naturales, en la zona de estudio sus concentraciones tienen valores muy bajos en un rango que varía desde 50 a 70 (mg.L⁻¹), con excepción de pozo de Escuela Soldado Cajal en las Cejas con un valor de 230(mg.L⁻¹), como se puede apreciar en gráfico de diagrama de Stiff (Ver Anexo).

Existe un intercambio iónico en el pasaje de materiales arcillosos entre el calcio y el sodio, fenómeno que aumenta hacia el este, esto podría explicar la baja concentración de ión a pesar de ser el dominante en otras aguas dulce.

❖ MAGNESIO

La concentración de magnesio de las aguas varían de entre 10 y 100(mg.L⁻¹) pero en concentraciones elevadas produce sabor amargo, propiedades laxantes, durezas e incrustaciones (Custodio y Llamas, op.cit.)

El ión magnesio al ser muy soluble no precipita en condiciones normales en las aguas superficiales o subsuperficiales, razón por la que se encuentra en menos proporción que el ion calcio, también influyen en este catión procesos de intercambios iónicos entre sedimentos que tienen mayor preferencia por el magnesio que por el calcio.

En la zona de trabajo se registran valores de concentración del ión muy bajos y variaciones también bajas entre los 11 a 14 (mg.L⁻¹).

❖ SODIO

La concentración de sodio en las aguas dulce varían entre 1 y 150 (mg.L⁻¹). El cloruro de sodio es el más común. Cuando se encuentra en altas concentraciones, más de 300 (mg.L⁻¹), torna corrosiva al agua y es perjudicial para las plantas (Custodio y Llamas, op.cit.).

El sodio se genera por procesos de meteorización de rocas ricas en silicatos y disolución de sedimentos de origen marino y evaporíticos, puede ser retenido en parte por las arcillas generando suelos arcillosos sódicos.

La concentración de sodio el área de estudio tiene concentraciones entre 139 y 183 mg.L⁻¹, y una elevada concentración en el pozo de Las Cejas con un valor de 252 (mg.L⁻¹).

❖ POTASIO

La concentración de potasio en la zona de estudio es bastante alta varía entre 19 y 42 (mg.L⁻¹) y los valores establecidos como normal para agua dulce van de 0.1 a 10 (mg.L⁻¹), se debe a que la litología de la zona está compuesta por grandes paquetes arcillosos de los acuíferos

El potasio es un catión comúnmente retenido, casi totalmente, en los productos de meteorización, constituyendo el mineral secundario llamado illita (arcilla potásica) (González Bonorino, op.cit.)

6.3.4- Clasificación del agua para Irrigación

Para realizar ésta clasificación se recurre al diagrama de Wilcox (1995), ya que permite determinar aptitud del agua para riego. RAS (Razón de Absorción de Sodio) y Conductividad Eléctrica son los dos parámetros que se deben tener en cuenta para ésta clasificación.

Se calcula RAS con la fórmula:

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}/2}}$$

Tabla 21-Parámetros del Diagrama Wilcox, calculado a partir de la Fórmula de RAS:

pozo n	RAS	CONDUCTIVIDAD
1Esc. Estación Araoz	5,5	1261
2Agua Dulce	4,66	1017
3El Melón	4,7	1167
Esc.N327	4,9	1183
5Esc. Soldado Cajal	4,41	1643

El Diagrama de Wilcox se encuentra dividido en 16 campos que reúne características particulares y determina el grado de peligrosidad tanto salina como sódica (Fig.6.6) . De acuerdo a normas Riverside para evaluar calidad de Aguas de Riego (U.S. Solid Salinity Laboratory) establece los Siguietes grupos:

Fig. 22. Tabla de clasificación según la salinidad

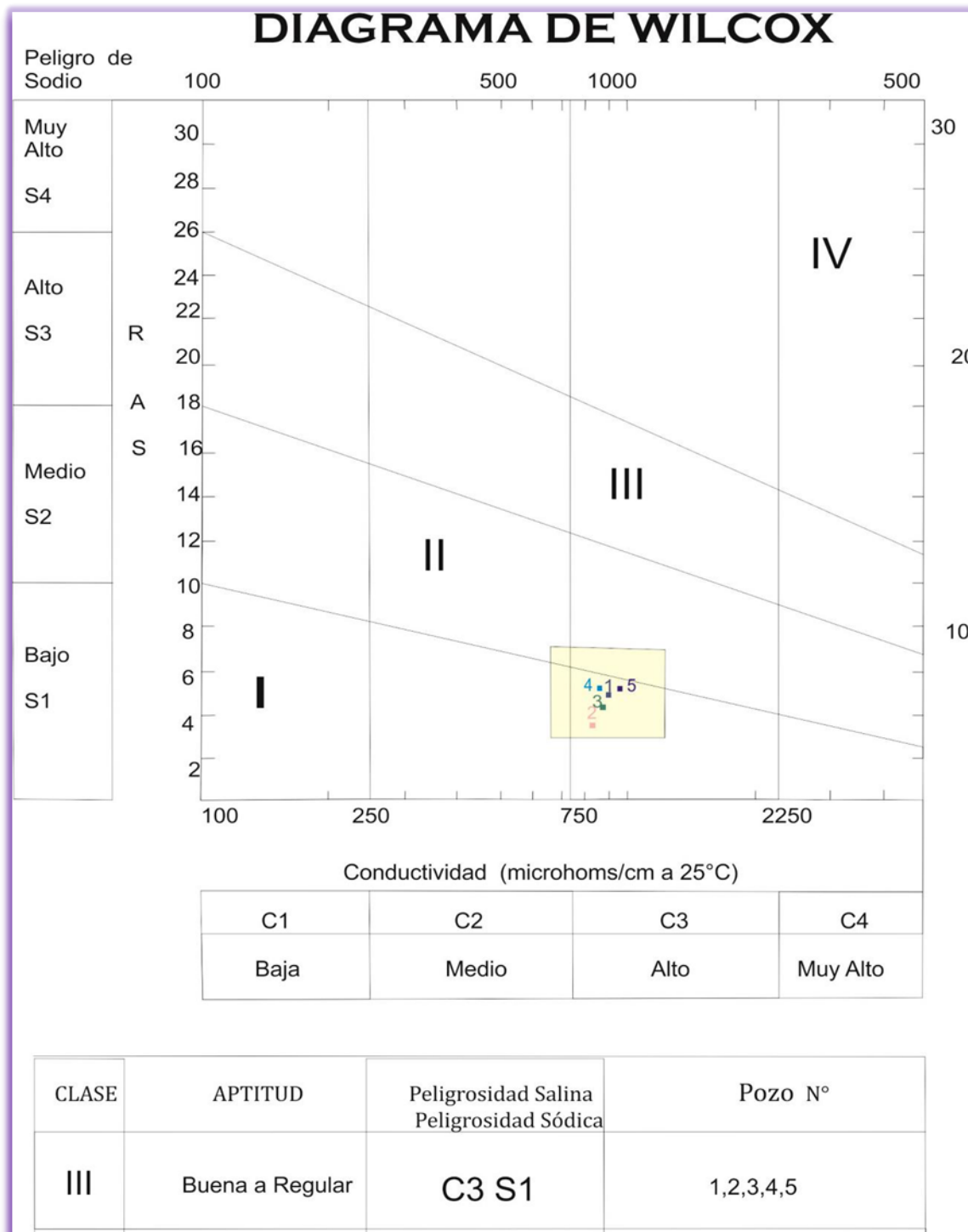
Tipos	Calidad y normas de Uso
C ₁	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C ₂	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C ₃	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₄	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
S ₁	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S ₂	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad, con elevada capacidad de cambio catiónico, si no contienen yeso. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario.
S ₃	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S ₄	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

6.3.5 Clasificación del Agua para Riego del Acuífero libre y profundo

Se puede observar en el Diagrama que todas las muestras pertenecen a la Clase III, (C3 salinidad alta, S1 baja condición sódica) Aptitud buena a regular, útiles para el cultivo con alta tolerancia a sales y suelos con drenaje bueno. Pertenecen a ésta clase las muestras de aguas de los pozos: Escuela Agrotécnica Estación Araoz, Agua Dulce, Escuela Paso de los Díaz El Melón, Esc. N°327 Los Pereyra, Escuela Soldado Cajal. Las Cejas, siendo este último una muestra de pozo más profundo y las cuatro anteriores muestras de pozos de poca profundidad.

Se puede concluir que en general las muestras polarizadas muestran buena aptitud para agua de riego. Si bien en el área estudiada la mayoría de las perforaciones son para consumo humano, cerca o dentro de las fincas se puede encontrar las utilizadas para riego y tienen resultados muy favorables.

Fig.41. Diagrama de Wilcox, para clasificar aguas para el uso de Riego.



CONCLUSIONES

En base a los antecedentes analizados y la información obtenida se concluye lo siguiente:

- **UBICACIÓN:** El área de estudio se ubica en el sector este de la provincia de Tucumán, dentro de los departamentos de Cruz Alta y Leales abarcando una superficie aproximada a 550 Km².
 - **RED FLUVIAL:** La densa red fluvial de la Cuenca del Río Salí, fue desarrollada por la posición geográfica de las cumbres Calchaquies y Sierras del Aconquija las cuáles tienen altitudes que superan los 5000 m.s.n.m. La zona de estudio tiene escasas lluvias no superan promedios de 500 mm anuales debido a su ubicación geográfica, ausencia total de sierras, montañas y cursos fluviales.
 - **GEOLOGÍA:** - Entre el sistema serrano del Aconquija y la Sierra de Guasayán, se extiende la llanura tucumana, que queda delimitada en profundidad por la Dorsal Cañete- Tacanas (García, et. al, 2014) al este de la zona. Esta llanura constituye una depresión estructural o valle del río Salí con una importante acumulación de sedimentos cuaternarios. La región de estudio está compuesta, en su totalidad, por sedimentos cuaternarios *holocénicos* (gravas, arenas y arcillas) de depósitos fluviales modernos y de abanico aluviales.
 - **TEMPERATURA:** La provincia de Tucumán se encuentra al norte del paralelo 40°Lat. S, forma parte de las zonas cálidas del país. La llanura tucumana soporta diferentes temperaturas medias, en verano son del orden de 26°C a 28°C pero alcanzan los 40°C y 45°C en días muy calurosos y en invierno se registran temperaturas medias de 10°C y 12°C.
 - **PRECIPITACIONES Y EVAPOTRANSPIRACIONES:** En invierno son lloviznas persistentes de poco milimetraje, en verano adquieren características de tormentas de gran intensidad, las estaciones pluviométricas ubicadas hacia el oeste registran mayores precipitaciones, y decrecen hacia el este con un promedio de 50 mm mensuales. De tres estaciones meteorológicas dentro del área (Lolita, Las Cejas y Tacanas) arrojan un promedio de 793 milímetros anuales y 66 mm mensuales
- Del área total (aproximadamente **555 km²**), el volumen total de la lámina de agua precipitada es **456 Hm** y la lámina uniforme de agua precipitada para el área estudiada es **822 mm**, el volumen total de agua evaporada es **400 Hm³** y la lámina uniforme de agua Evaporada para el área estudiada es **721 mm** y la infiltración es **I =101 mm.**, el porcentaje del valor de infiltración en la zona sería 12.28 % del agua precipitada.
- **GEOELECTRICA:** De acuerdo a los modelos de los SEV puede concluirse que existe una alternancia entre las capas resistivas y conductivas que varía en sentido oeste – este. En el extremo oeste existe mayor cantidad de materiales de granulometría gruesa (gravas y arenas) debido a la influencia del río Salí y sus tributarios, decrecen a materiales más finos (limo, arcillas, loess) hacia el este, donde se desarrolló este trabajo.
 - **PERFORACIONES:** En la Cuenca del Valle del Río Salí existen perforaciones con profundidades entre 50-350 m. Se pudo constatar que, en general, sobre el total de los 52 pozos registrados, la mayor parte se utiliza para consumo humano y en menor medida para riego. En la zona analizada, predominan pozos de 100 a 175 metros de profundidad con caudales de bombeo dominante de 50m³/h, también se registraron datos de caudales en un rango de 250 m³/h y 300m³/h. Poseen caudales específicos de

39 m³/h y 46 m³/h respectivamente con profundidades de 200 a 300 m. Se pudo observar que las mayores profundidades se encuentran cerca del alto estructural, Dorsal de Tacanas.

- Los niveles estáticos son muy variables con valores negativos hasta -50 m.b.b.p., en localidades que se encuentran en la parte norte de la zona de estudio. Se observa un aumento de los mismos, sobrepasando la cota topográfica en la zona centro-oeste y sur-este marcando zonas de surgencia (localidades de Cañadas de Viclos y parte sur de Los Pereyra) con valores que van de 0 a +0.5 y hasta +5 metros sobre boca de pozo.

Las isopiezas presentan una forma curva tenue, tienden a variar entre plana a cóncava a lo largo del terreno. En el área de estudio, se puede interpretar mediante el mapa de Isopiezas, que la circulación del agua subterránea, proviene desde áreas montañosas norte, noreste, donde el flujo se desplaza por sedimentos permeables pendiente abajo hacia las zonas topográficamente más bajas, con materiales finos, En la zona de estudio el análisis cualitativo de los niveles piezométricos y la tendencia general de las líneas de flujo subterráneo, permiten establecerla como zona de conducción hacia el sureste, donde se produce la descarga. Cabe aclarar que la particular presencia del alto estructural Dorsal de Tacana presente casi en el centro de la zona de estudio con dirección n-s provoca una distorsión del comportamiento del flujo.

- En base a los datos litológicos de pozos se construyeron cuatro perfiles y se intercaló con SEV para determinar la existencia de los acuíferos superior, medio o confinado.

Acuífero superior. se encuentra desarrollado a poca profundidad, hasta los 40 metros de subsuelo, es un horizonte permeable por lo que tiene grandes posibilidades de contaminación antrópica. Está caracterizado por gravas gruesas y arenas gruesas a media con intercalaciones menores de limos, arcillas y loess que aumentan el contenido de material calcáreo pasando La Dorsal de Tacanas.

Acuífero medio Tiene composición granulométrica con predominio de gravas y arenas gruesas en algunos. Se desarrolla a profundidades de 40 metros hasta los 150 metros aproximadamente, en los perfiles presenta mejor desarrollo de espesor que el resto de acuíferos, ejemplo de ello es un pozo en los Pereyra de 135 metros de profundidad con un caudal de bombeo de 80 m³/h.

Acuífero inferior El desarrollo del mismo se da a profundidades aproximadas del orden de los 100 o 140 metros en subsuelo. En la correlación con sondeos eléctricos verticales se puede observar un aumento de resistividad que presupone la presencia de este acuífero, es un horizonte con material un poco más fino, donde se intercalan arenas finas a medias cuarzosas y arenas gravosas. Algunos pozos en localidades como Blanco Pozo, Las Cejas y Siete Quebrachos, por ejemplo, tienen 200 a 280 metros de profundidad. Se puede observar caudales de bombeo con valores de 300 m³/h, con un caudal específico de 46,15 m³/h.

Actualmente se realizan perforaciones mucho más profundas con el fin de explotar este horizonte.

- **GEOQUÍMICA:** se concluye de la clasificación del Diagrama de Piper Hill Langelier, que la composición iónica de las aguas dentro de la zona varía de oeste a este. Las aguas son **Bicarbonatadas Cloruradas sódicas** en localidades de Agua Dulce, Los Pereyra Sur, y Tres Pozos y **Cloruradas Bicarbonatadas Sódicas** en Estación Araoz.

Esto refleja una mayor evolución de aguas subterráneas en la parte este del área de estudio como así también un mayor tiempo de residencia en los sedimentos en caso de las cloruradas. Existe un intercambio iónico en el pasaje de materiales arcillosos entre el calcio y el sodio, fenómeno que aumenta hacia el este, donde las aguas se clasifican como bicarbonatadas cloruradas sódicas. En localidades Las Cejas y Blanco Pozo fueron clasificadas como aguas sulfatadas Cállicas se registraron proporciones de sulfatos que sobrepasaban los 300 mg/l.

- Del Diagrama de Wilcox se identifica que todas las muestras pertenecen a la Clase III, (C3 salinidad alta, S1 baja condición sódica) Aptitud buena a regular, aceptable para el uso de riego y ganadería.
- La provincia cuenta con un marco legal, la Ley de Aguas N° 7139, sancionada en 2001 que en su art.88 declara al agua subterránea como de bien público de acuerdo al Código Civil (art.2340), se reconocen derechos de uso común y especial de las aguas subterráneas para uso agrícola, ganadero e industrial en los mismos términos que para aguas superficiales, procura garantizar su aprovechamiento racional, eficiente y equitativo.

El área de estudio no se encuentra densamente poblada y las aguas subterráneas tienen calidades y capacidades suficientes para abastecer dicha población de agua potable.

Los pozos identificados corresponden a escuelas y pozos que pertenecen a las comunas y a la S.A.T., en su mayoría son muy antiguos de más de 30 años, de poca profundidad, con elevados caudales. Se puede destacar que existen numerosos pozos profundos, pero son privados, y no forman parte del sistema de red potable.

Unos de los problemas fundamentales del área es la dispersión de la población por lo que hace que la red de agua potable sea muy extensa y en algunos sectores no se pueda llegar por falta de presión.

Es de fundamental importancia realizar un mapeo poblacional de detalle de las localidades, y para poder diagramar correctamente la red de agua a partir de los pozos existentes y realizar perforaciones nuevas en sitios estratégicos.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo N. 2012. Evaluación Hidrogeológica de los departamentos Cruz Alta y Leales, Tucumán. Seminario de grado Fac. de Cs. Naturales e IML.

Aceñolaza, F.G. y Toselli, A.J., 1981. Geología del Noroeste Argentino. U.N.T. Fac. de Cs. Naturales e IML, Publicación especial, 1287: 212 pp.

Alderete, M.C., 1998. Unidades Fisiográficas de la Provincia de Tucumán. En M. Gianfrancisco, M.E. Puchulu, J. Durango de Cabrera y F.G Aceñolaza. (Eds.), Geología de Tucumán, Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán 2da edición. 29-40.

Atlas Tucumán 100K. (IGN.), CONAE Y Ministerio de Educación de la Provincia. [http://:www.tucuman100K.gob.ar](http://www.tucuman100K.gob.ar)

Baldis, B.A., Beresi, M.S., Bordonaro, O. y Uliarte,. Transducción: un nuevo fenómeno asociado a los procesos de tectónica global. V Congreso Latinoamericano de Geología Económica. Tomo III, págs.705-718. Buenos Aires

Battaglia, A., 1982. Descripción Geológica de las Hojas 13f, Río Hondo, 13g, Santiago del Estero. 14g El Alto, 14h, Villa San Martín, 15g, Frías. Servicio Geológico Nacional, Boletín 186,80 pp. Buenos Aires.

Beder, R., 1928. La Sierra de Guasayán y sus alrededores, una contribución a la Geología e Hidrogeología de la Provincia de Santiago del Estero, Dirección General de Minas, Publicación 39. Buenos Aires.

Belegno de Martinez, M.T. y Vergara G. A., 1984. Contribución a la Hidrogeoquímica de los Acuíferos Termales Surgentes- Departamentos Leales- Provincia de Tucumán, Dirección Provincial del Agua- Departamento Perforaciones.

Bossi, G.E., 1969. Geología y Estratigrafía del Sector Sur del Valle de Choromoro (Tucumán). Acta Geológica Lilloana, 10: 17-64

Bossi G.E.; Gavriloff, I. y Esteban G.; 1998. Terciario. Estratigrafía, Bioestratigrafía y Paleogeografía. En Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. San Miguel de Tucumán. Págs.: 87-108.

Brackebusch, L., 1980. Mapa Hidrogeológico del Interior de la República Argentina. Instituto de Geografía de Hellfarth, Gotha. Publ. Acad. Nac. De Cs. Córdoba VII.

Camino, R., 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales, Segundo simposio de Geología Regional Argentina: Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 1:225-291. Córdoba.

Código Alimentario Argentino (CAA). 1994. Art 1 Res. MS y AS N° 494 Ley 18284. Dec. Reglamentario 2126. Anexo I y II. Ed. Marzocchi.

Custodio E. y Llamas, R (1983). Hidrogeología Subterránea. Segunda Edición. Ediciones Omega. Barcelona, España.

Custodio, E. y Díaz, E., 1983. Calidad del agua subterránea. En: Hidrología subterránea (E. Custodio y M. R. Llamas). Edit. Omega. Barcelona, España, Tomo II, 1879-1962.

Dal Molin, C., Fernández, D., Ecosteguy, L., Villegas, D., González, O. y Martínez, L., 2003. Hoja Geológica 2766-IV, Concepción, provincias de Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 342, 42 p. Buenos Aires.

Dirección de Recursos Hídricos. 2016. Datos de archivo del Departamento Perforaciones. San Miguel de Tucumán. (Inédito).

Elías, A. I. 2014. Caracterización Hidrogeológica del Sector Central de los Departamentos de Cruz Alta y Leales, Tucumán. Seminario de grado Fac. de Cs. Naturales e IML.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) 1997. Archivo de datos climatológicos de la Provincia de Tucumán. (Inédito).

Falcón, C.M. 2004. Hidrogeología del sector sudoriental de la Sierra de La Ramada y llanura adyacente, provincias de Tucumán y Santiago del Estero. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, UNT. 450 pp. San Miguel de Tucumán (Inédita).

Fidalgo, F., 1965. Geología del Pleistoceno del “valle” de Catamarca. Servicio Geológico Nacional, carpeta 663, inédita.

García, J. W. 2003. – Nueva Nomenclatura para la representación de análisis químicos de aguas mediante el diagrama de Piper (1944) (inédito). Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (UNT). Tucumán.

García, J.W. et. al., 2010. Análisis de Vulnerabilidad a la Contaminación del Agua Subterránea en el Área de Recarga de la Cuenca Hidrogeológica de la Llanura Tucumana. Facultad de Ciencias Naturales e IML- UNT. **García, J.W. 2012.** Hidrogeología del Valle del Río Salí, Provincia de Tucumán. Monografía Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales e IML- UNT. (Inédito).

García, J.; Falcón, C.; D’ Urso, C.; Rodríguez, G y Acevedo, N. 2014. Hidrogeología de Tucumán. En Moyano, S.; Puchulu, M. E.; Fernández, D.; Aceñolaza, G.; Vides, M. E.; Nieva, S.; (Eds.), Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.

García, María Gabriela, 2002. Estudio Hidrogeológico de las Aguas Subterráneas y Superficiales de la Cuenca Artesiana del Sureste de la Provincia De Tucumán. Tesis Doctoral. Centro de Investigación y Transferencia en Química Aplicada, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán.

Gómez, I. E.; 1998. Cuenca Hidrogeotermal del Río Salí. Seminario Fac. de Cs. Naturales e I.M.L.- UNT.

González, O., 1999. Hoja Geológica 2766-II San Miguel de Tucumán. Boletín N°245. Buenos Aires.

González Bonorino, F. 1950. Algunos problemas Geológicos de las Sierras Pampeanas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 5 (3). Buenos Aires.

I.N.D.E.C. 2001. – Censo Nacional de Población y Vivienda – Resultados Definitivos. Cuadernillos N° 1, 2 y 3. Dirección General de Estadísticas y Censos del Gobierno de la Provincia de Tucumán.

INDEC, 2010. Censo Nacional de Poblaciones, Hogares y Vivienda.

Indri, D y Medina, M., 1989. Nuevas observaciones geológicas y geoquímicas en el granito San Ignacio- Los Pinos, Provincia de Tucumán y Catamarca. Argentina. 6° Congreso Geológico Chileno, 1:294-297. Santiago.

Instituto Geográfico Militar, 1998. Imagen Satelital de la República Argentina. 1° Edición. E. 1: 100.000, Concepción. 2767-17

Jordan, T. y Allmendinger, R., 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. American Journal of Science, 286: 737-764.

Jordan, T., Allmendinger, R. y Ramos, V. 1983. La segmentación tectónica de las Andes Centrales y su relación con la geometría de la placa de Nazca. 5° Congreso Latinoamericano de

Geología, 3: 587-606. Buenos Aires.

Mon, R., 1976. La tectónica del borde oriental de los Andes en las provincias de Salta, Tucumán y Catamarca, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 31(2):65-72. Buenos Aires.

Mon, R. Pomposiello, M. y Díaz, M., 1990. Estructura de la cuenca de Tucumán de acuerdo a investigaciones gravimétricas. 11° Congreso Geológico Argentino, 1:251- 254. San Juan.

Mon, R., 1993. Influencia de la orogénesis oclógica (Ordovícico- Silúrico) en la segmentación andina del Noroeste Argentino. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 3: 65-71.

Nicolli, H. B., Tineo, A. y García, J. 2000. – Estudio Hidrogeológico y de Calidad del Agua en la Cuenca del Río Salí, provincia de Tucumán. Rev. de Geol. Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente N° 15:82-100. Buenos Aires.

Nicolli, H.; Tineo, A.; García, J.; Falcón, C.; Merino, M; Etchichury, MC.; Alonso, M S. y Tofalo, O.R. (2004) -The role of loess in groundwater pollution at Salí River basin, Argentina. XI° International. Symposium on Water Rock Interaction (WRI-11) Saratoga Springs, N. York, USA. 2004.

Orellana, E; Mooney, H., M. 1966. Tablas y curvas patrón para Sondeos Eléctricos Verticales, sobre terrenos estratificados. Interciencia, Madrid

Piper, A. M. 1944. A Graphic Procedure in The Geochemical Interpretation of Water Analyses. American Geophys. Union Transactions V (25):914- 923. Washington (USA).

Rassmuss, J., 1918. La Sierra del Aconquija. 1° Reunión Nacional Sociedad Argentina de Ciencias Naturales. Physis; 47-69. Buenos Aires.

Ruiz Huidobro, O., 1960. El horizonte calcáreo dolomítico en la provincia de Tucumán. Acta Geológica Lilloana, 3: 147-173. Tucumán.

Santillán de Andrés, S. E. y Ricci, T. R. 1980.- Geografía de Tucumán. Publicación Especial N° 12.999:1-192. Facultad de Filosofía y Letras (UNT). Tucumán.

Sayago, J. M., Collantes, M., Toledo, M., 1998. Geomorfología de la Provincia de Tucumán, Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. 2da edición.

Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación y EVARSA, 2000. Estadística hidrológica del siglo XX. República Argentina. 291 págs.

Stappenbeck, R.; 1915. Las Aguas Subterráneas del Sur de la Provincia de Tucumán. Bol. Min. Agric. N° 17, Bs. As.

Stelzner, A.; 1876. En Ramos, V.; Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino; Geología Argentina. Buenos Aires 1999.

Suayter, L., 1983. "Relaciones entre la Sismicidad y la Tectónica del Norte Argentino, entre los paralelos 22°y 28°Latitud Sur y los Meridianos 64°y 68° Longitud Oeste". Tesis Doctoral. Inédito. Fac. de Cs. Naturales e I.M.L.

Tineo, A.; Falcón, C.; García, J.; D'Urso, C. y Rodríguez, G. 1993. - Hidrogeología de la Llanura Tucumana, Provincia de Tucumán (R.A.). Actas XII° Congreso Geológico Argentino. T VI: 172-176. Mendoza.

Tineo, A., C.M. Falcón, J.W. García, C.H. D'Urso, G. Rodríguez y Galindo G. 1998. Capítulo Hidrogeología: Libro Geología de Tucumán. Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Segunda Edición. Pág. 259-274. Tucumán. Gianfrancisco M., M.E. Puchulu, J.D. de Cabrera y G.F. Aceñolaza (Eds.). Tucumán.

Torres, A.2015. -Caracterización Hidrogeológica del Centro del Departamento Leales, Provincia de Tucumán República Argentina. Seminario de grado Fac. de Cs. Naturales e IML.

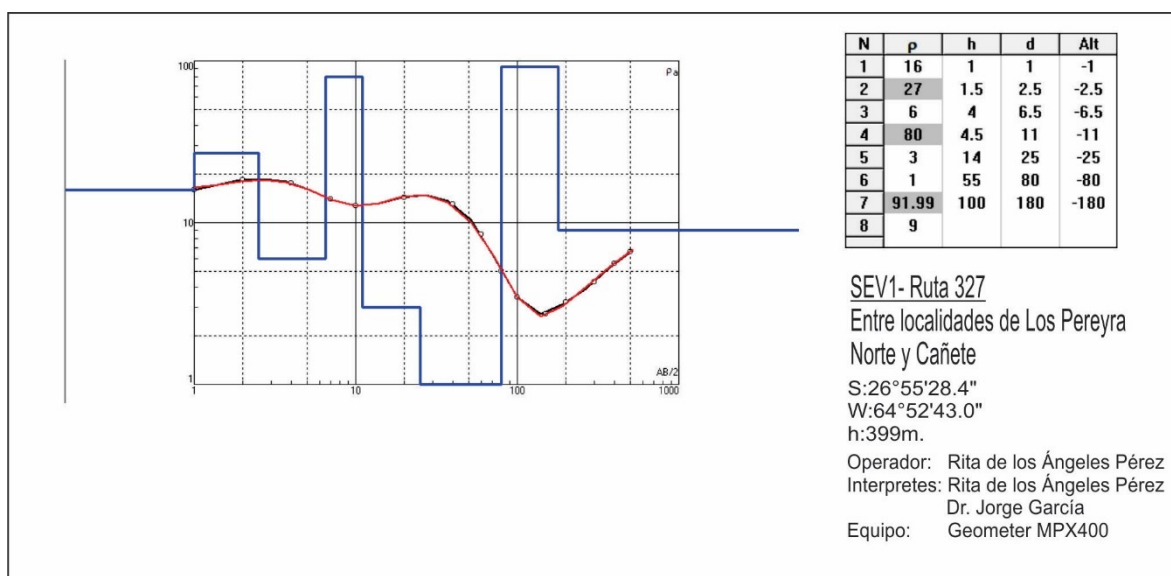
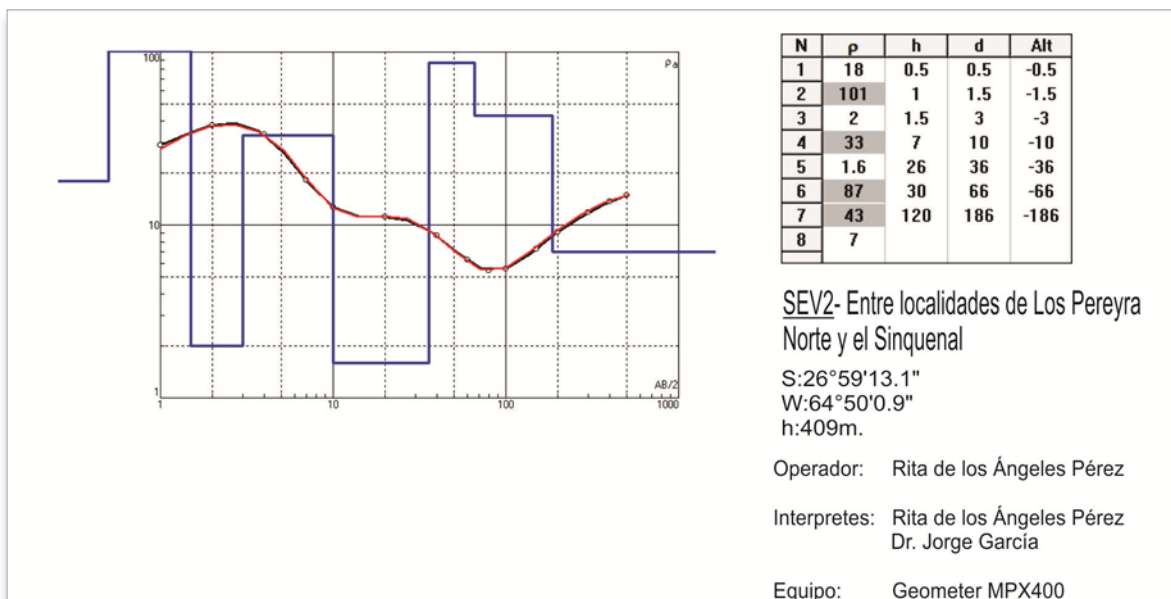
Viruel de Ramírez, M. y Barber, E., 1994. Granito San Ignacio- Los Pinos. Prospección-Evaluación Preliminar. Secretaría de Minería de la Nación. Tucumán. Informe Inédito, 51 pp. Tucumán.

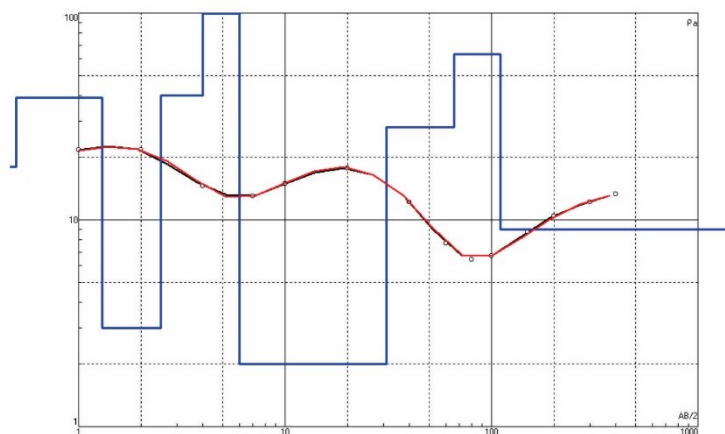
Vergara A.G.y Blegno María T. (1985) Contribución a la hidrogeoquímica del Agua Subterránea en el Departamento Cruz Alta- Provincia de Tucumán.

Wilcok, L. 1955. Classifications and Use of Irrigation Water. Department of Agriculture. Circular Nº 969. 19 p. USA.

ANEXO

FIG.1-Curvas de Sondeos Eléctrico Verticales





N	p	h	d	Alt
1	18	0.5	0.5	-0.5
2	39	0.8	1.3	-1.3
3	3	1.2	2.5	-2.5
4	40	1.5	4	-4
5	145	2	6	-6
6	2	25	31	-31
7	28	35	66	-66
8	63	44	110	-110
9	9			

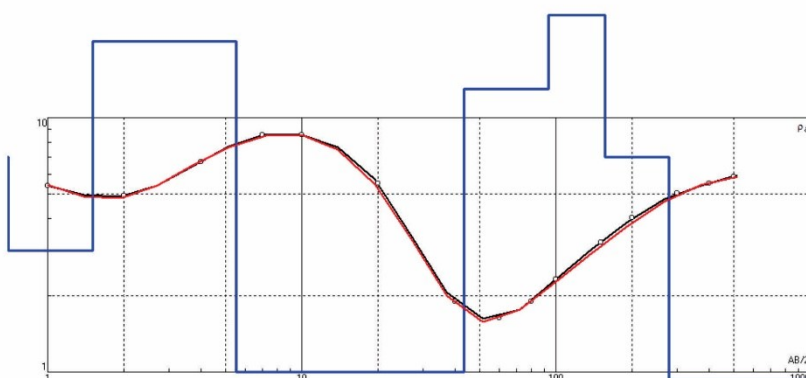
SEV3-POZO BLANCO

S: 27°01'41.6"

W: 64°47'38.3"

h: 396 m

Operador: Rita Pérez
Intérpretes: Dr.Jorge Garcia
Rita Pérez
Equipo: GeometerMPX400



N	p	h	d	Alt
1	7	0.5	0.5	-0.5
2	3	1	1.5	-1.5
3	20	4	5.5	-5.5
4	1	38.5	44	-44
5	13	50	94	-94
6	30	63	157	-157
7	7	122	279	-279
8	0.9			

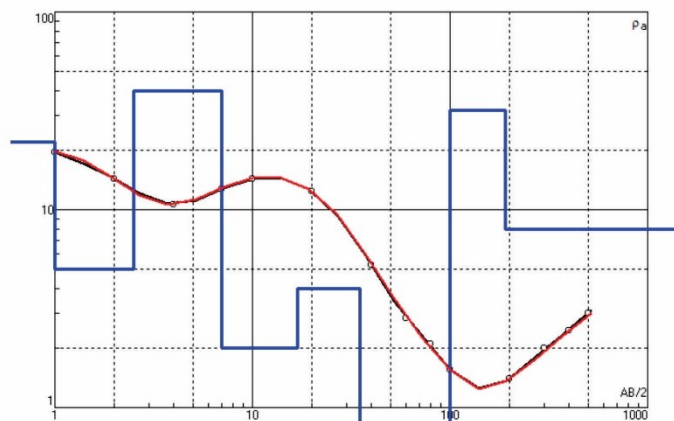
SEV4-LOS PEREYRA SUR

S: 27°00'34.0"

W: 64°54'02.1"

h: 372 m

Operador: Rita Pérez
Intérpretes: Dr.Jorge Garcia
Rita Pérez
Equipo: GeometerMPX400



N	p	h	d	Alt
1	22	1	1	-1
2	5	1.5	2.5	-2.5
3	40	4.5	7	-7
4	2	10	17	-17
5	4	18	35	-35
6	0.5	65	100	-100
7	32	90	190	-190
8	8			

SEV5- TACANAS

S: 27°08'36.9"

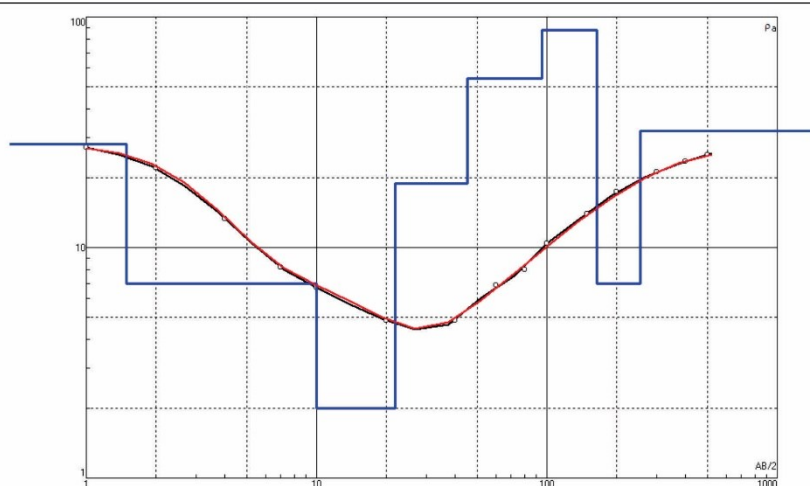
W: 64°48'15.6"

h: 370 m

Operador: Ángela Torres

Intérpretes: Dr. Jorge Garcia
Rita Pérez

Equipo: GeometerMPX400



N	p	h	d	Alt
1	28	1.5	1.5	-1.5
2	7	8.5	10	-10
3	2	12	22	-22
4	19	23	45	-45
5	54	50	95	-95
6	88	70	165	-165
7	7	90	255	-255
8	32			

SEV6- Cañadas de Viclos

S: 27°10'40.5"

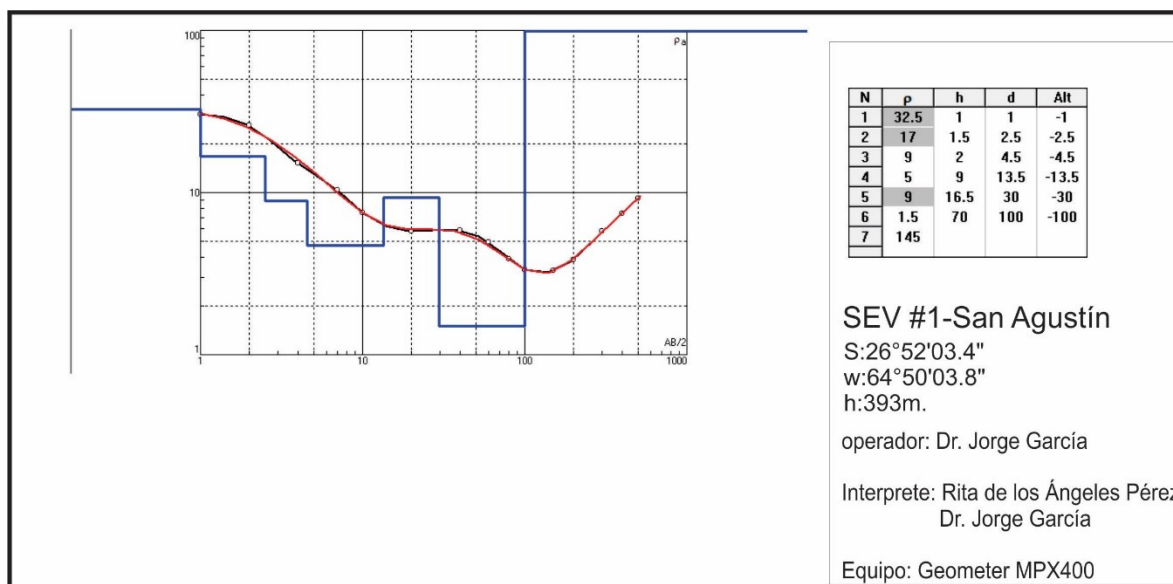
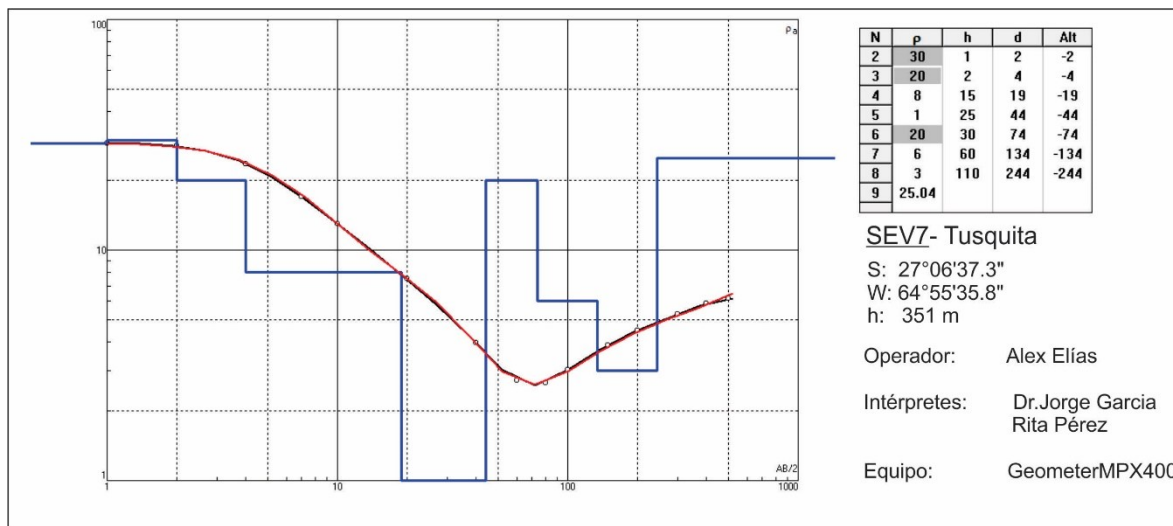
W: 64°55'23.6"

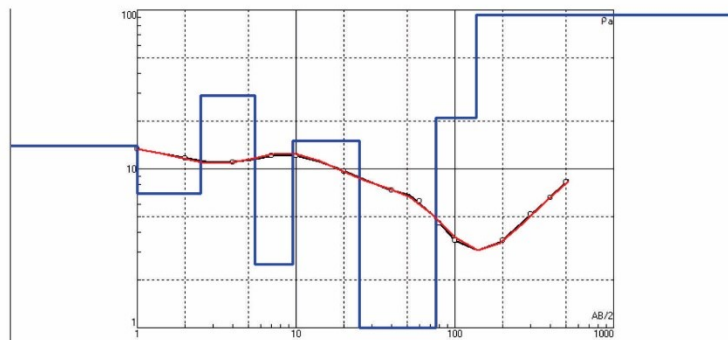
h: 335 m

Operador: Ángela Torres

Intérpretes: Dr. Jorge Garcia
Rita Pérez

Equipo: GeometerMPX400





N	p	h	d	Alt
1	14	1	1	-1
2	7	1.5	2.5	-2.5
3	29	3	5.5	-5.5
4	2.5	4	9.5	-9.5
5	15	15.5	25	-25
6	1	51	76	-76
7	21	60	136	-136
8	93			

SEV #2-Las Cejas

S: 26°51'48.6"

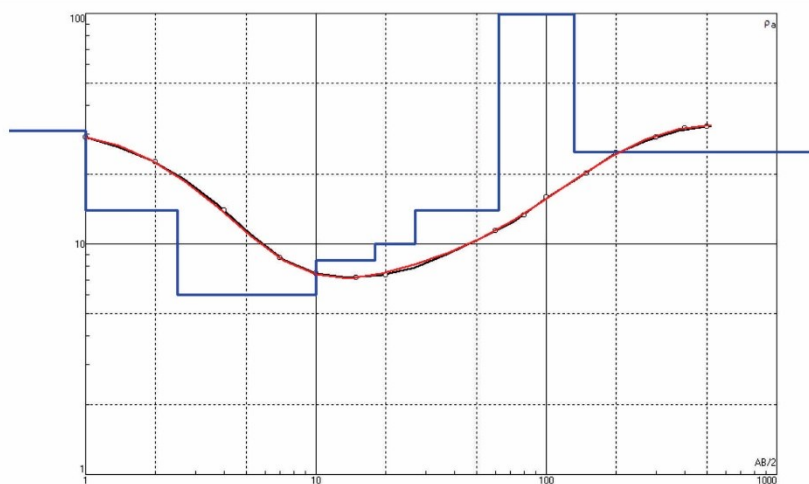
w: 64°47'19.0"

h: 368m.

operador: Dr. Jorge García

Interprete: Rita de los Ángeles Pérez
Dr. Jorge García

Equipo: Geometer MPX400



N	p	h	d	Alt
1	31	1	1	-1
2	14	1.5	2.5	-2.5
3	6	7.5	10	-10
4	8.5	8	18	-18
5	10	9	27	-27
6	14	35	62	-62
7	110	70	132	-132
8	25			

SEV#3 - Lolita Norte

S: 26°53'08.9"

W: 64°56'33.2"

h: 412 m

Operador: Alex Elías

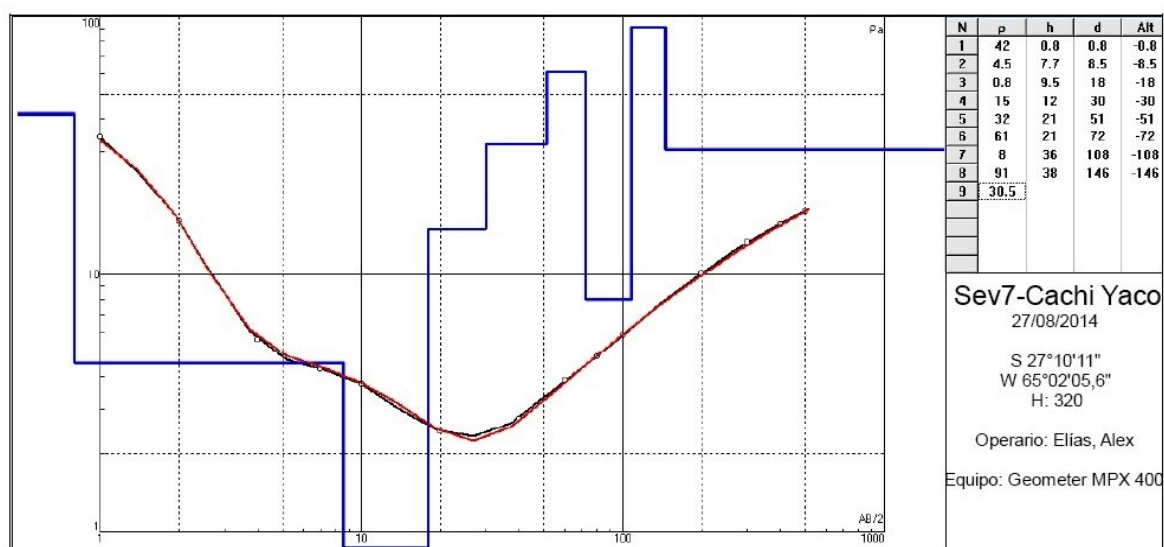
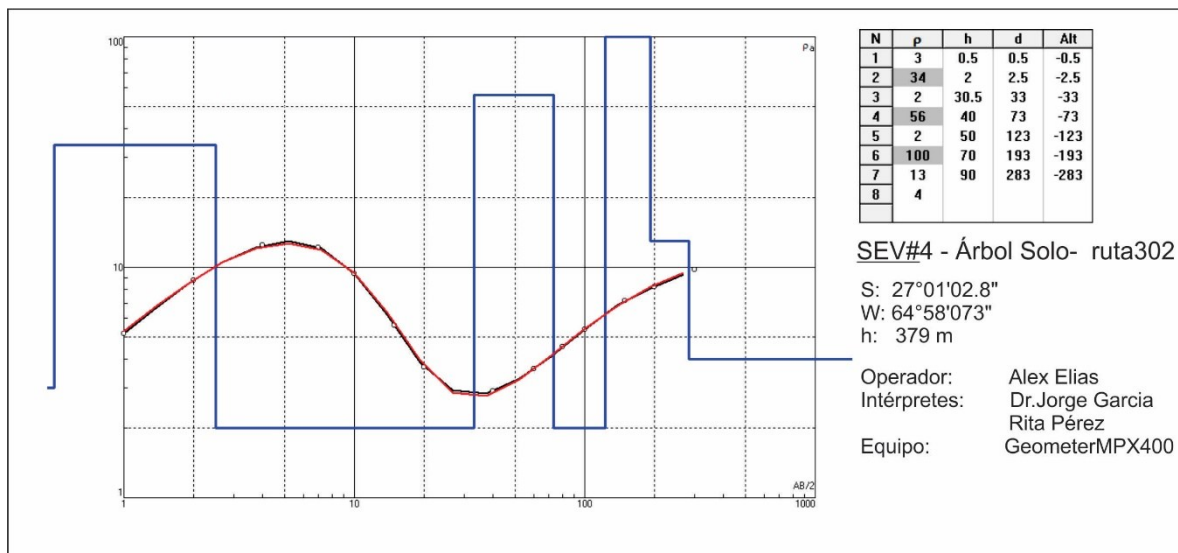
Intérpretes: Dr. Jorge García
Rita Pérez

Equipo: GeometerMPX400

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE SECTOR
ESTE DEL DEPARTAMENTO CRUZ ALTA PROVINCIA
DE TUCUMÁN, REPÚBLICA ARGENTINA”**

**PEREZ
ANGELES
/ 2016**

RITA DE LOS



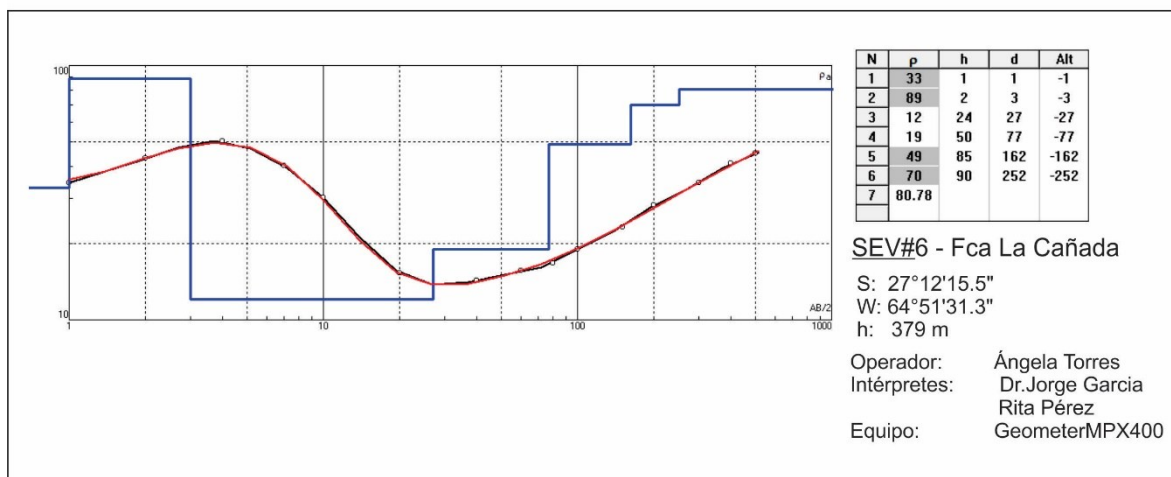


Tabla de Pozos utilizados para el trazado de curvas de Niveles Estáticos y Piezométricos

Orden	Pozo	coordenadas		Cota(m)	Prof.	Nivel	isopieza
		X	Y				
3	Lolita N°3	3605000	7028500	426	189	-50	375,1
5	Lolita Sur	3604375	7025750	414,62	174	-82	406,42
10	Esc.Agrotecnica Soldado Cajal	3623500	7030000	378,21	229	3,75	381,96
11	Finca Iramaín	3627075	7026675	349,08	152	6	355,08
12	Esc. Prov.de Córdoba	3624750	7026100	351,08	153	-0,3	351,5
15	La Salamanca	3605950	7014630	413,33	196	0,1	413,88
19	Esc.108,Los Preyra	3610625	7020750	384,72	102	0,1	384,82
21	Esc.225	3609300	7014600	406,67	143	0,5	407,17
22	Centro Cívico Los Pereyra	3610000	7016000	401	160,32	-4,8	396,2
27	7Quebrachos	3625250	7024125	343,33	209	8	351,3
30	Agua Dulce	27°2'4,60"S	65°1'35,40"O	343	118	6	309
34	Blanco Pozo	27°00'50,76"S	64°46'52,56"O	380	280	-3.6	344
43	Las Tusquitas	27°7'23,08"S	64°55'37,89"O		140	8	308
47	Cachi Yaco	27°9'57,08"S	64°59'25,58"O	330	171	0,8	330,8
48	Tacana	27°8'04,25"S	64°49'6,92"O	378	280	-17	361
49	Cañada de Viclos	27°10'6,48"S	64°55'17,28"O	338	217	0,5	338,5
46	El Melón	27°6'28,72"S	64°50'53,43"O	373	180	-12,5	360,5
52	Estación Araoz	27°2'16,47"S	64°56'34.34"O	366	110	5.5	371.5
53	Estación Araoz	27°3'17.98"S	64°55'16.24"O	369	180.55	0.2	369.2
54	Esc. Agrotécnica E. Araoz	3607624.2	7007716.5	364	119	1	365

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE SECTOR
ESTE DEL DEPARTAMENTO CRUZ ALTA PROVINCIA
DE TUCUMÁN, REPÚBLICA ARGENTINA”**

**PEREZ
ANGELES
/ 2016**

RITA DE LOS

Planilla de Perforaciones, utilizadas en capítulo Hidrogeología para realizar porcentajes de caudales y profundidad,

Niveles estáticos para Mapas de Niveles estáticos e Isopiezas.

N°	LOCALIDAD	DEPARTAN	PROVINCIA	COORDENADAS	AÑO	COTA(m)	PROF. (m)	FILTROS	NE(m)	ND (m)	QB m³/h	QE m³/h	ENTUBADO (m)	OBSEVACIONES
1	Luisana	Cruz Alta	Tucumán	-	-	-	294	145-154 161-169 189-197 203-208 241-246 257-262 273-283	-52	-63	220	20,09	12"-130 8"-287	
2	Lolita Norte	Cruz Alta	Tucumán				190	108-111 128-131 147-150 164-170 172-184	-45,5	-50,9	250	39,55	12"-100 8"-189	
3	Lolita Norte N°3	Cruz Alta	Tucumán	3605000 7028500		426	189	108,0 - 111,0 130,0 - 140,0 146,0 - 150,0 160,0 - 164,0 172,0 - 185,0	-50,92	-50,92	250	-	12"-100 8"-189	
4	Lolita Norte N°4	Cruz Alta	Tucumán	3600250 7028600		430	252	106,0 - 111,0 128,0 - 131,0 137,0 - 141,0 147,0 - 150,0 164,0 - 170,0 172,0 - 184,0 225,0 - 228,0 244,0 - 247,0	36,1	-44,4	290	-	12"-104 8"-252	
5	Lolita Sur N°1	Cruz Alta	Tucumán	3604375 7025750		414,62	174	66,0 - 73,0 99,0 - 105,0 117,0 - 121,0 124,0 - 136,0 160,0 - 170,0	-8,2	-15,7	200		12"-73 8"-155	
6	San Agustín		Tucumán	-	1977	-	150	-	-	-	42	-	-	
7	Cañete	Cruz Alta	Tucumán	3600000 7027250		394,94	185	83,8 - 86,8 103 - 106 121,6 - 124,7 156,0 - 158,0 161,5 - 163,4 164,9 - 166,7	-41,32	-42,24	14,76	14,76	6"-79 4"-185	Consumo humano
8	Canete Finca Sol María S.A	Cruz Alta	Tucumán	3615355,09 7023673,9		428					200			Riego
9	Las Cejas Escuela N° 87 prov. de Córdoba	Cruz Alta	Tucumán	3622975,65 7024609,16			154		0,35	-11,18	70		6"-154	
10	Escuela Agrotécnica Sodado Cajal	Las Cejas Cruz Alta	Tucumán	3623500 7030000		378,71	229	183,0 - 188,0 194,0 - 198,0 201,0 - 203,0 223,0 - 227,0	3,75	-13,45	70		10"-50 6"-229	Consumo humano

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE SECTOR
ESTE DEL DEPARTAMENTO CRUZ ALTA PROVINCIA
DE TUCUMÁN, REPÚBLICA ARGENTINA”**

**PEREZ
ANGELES
/ 2016**

RITA DE LOS

N°	LOCALIDAD	DEPARTAN	PROVINCIA	COORDENADAS	AÑO	COTA(m)	PROF. (m)	FILTROS	NE(m)	ND(m)	QB m³/h	QE m³/h	ENTUBADO(m)	OBSEVACIONES
11	Las Cejas Finca Iramain	Cruz Alta	Tucumán	3627075 7026675		349,08	152	149,0 -152,0	6		48		4" - 152	Riego
12	Escuela Provincial de Córdoba	Las Cejas Cruz Alta	Tucumán	3624750 7026100		351,8	153	60,0 -66,0 69,0 -72,0 108,0 -111,0 147,0 -151,0	-0,3	-11,18	70		6" - 153	
13	Escuela Rafaela Pozo	Las Cejas Cruz Alta	Tucumán	-	1997		255	204-208 232-235 248-251	50	-12,3	50	2,9	6"-100 12"-130	pozo surgente P°de surgencia=0,50 0kg/cm² Qsurg=8m³/H
14	Escuela Provincial de Córdoba	Las Cejas Cruz Alta	Tucumán		1997			60-66 69-72 108-111 147-151	-30	-11,8	70	6,43	6"-30 12"-54	El pozo dejó de surgir al finalizar el ensayo
15	Comuna La Salamanca	Cruz Alta	Tucumán	3605950 7014630		413,33	196	91,0 -97,0 105,0 -114,0 120,0 -126,0 137,0 -140,0 145,0 -149,0 190,0 -194,0	0,5	-27	250		12" - 70 8" - 120 6" - 196	Consumo humano
16	Comuna La Salamanca	Cruz Alta	Tucumán	3606500 7014625					1,6		130			Consumo humano
17	La Salamanca	Cruz Alta	Tucumán		1197			91-97 105-114 120-126	0,5	-27	250	9,43	12"-70 8"-149 6"-200	pozo surgente Qsurg=20m³/H
18	finca María E. Carletto	Los pereyra Cruz Alta	Tucumán	3615412,2 7019976,13							11			
19	Escuela 108	Los Pereyra	Tucumán	3610625 7020750		384,72	102	66-72 96- 102	0,1		41		4,0"-102	Consumo Humano
20	Escuela Nº 108 - Los Pereyra	Cruz Alta	Tucumán	3606888 7012471			143	101 -104	-20,35	-23,3	45		6,0"-143	
21	Escuela Nº225	Los Pereyra Cruz Alta	Tucumán	3609300 7014600	1997	406,67	135	79- 82 84- 88 99 - 102 127 - 131	0,5	-32,4	80	2,43	8" - 79 15"-40 6"-65 12"-135	Consumo Humano
22	Centro Cívico	Los Pereyra Cruz Alta	Tucumán	3610000 7016000	1978	401	160,32	120,1 -130,2 138,4 -140,3 154,3 -158,1	-4,8	-22,4	25,92	-	8" -48,9 6" -160,3	Consumo Humano

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE SECTOR
ESTE DEL DEPARTAMENTO CRUZ ALTA PROVINCIA
DE TUCUMÁN, REPÚBLICA ARGENTINA”**

**PEREZ
ANGELES
/ 2016**

RITA DE LOS

N°	LOCALIDAD	DEPARTAN	PROVINCIA	COORDENADAS	AÑO	COTA(m)	PROF. (m)	FILTROS	NE(m)	ND(m)	QB m³/h	QE m³/h	ENTUBADO (m)	OBSEVACIONES
23	Escuela N°327	Los Pereyra Cruz Alta	Tucumán	-	1996	374	102	-	12	-	30	-	4"-102	
24	Escuela N°327	Los Pereyra Cruz Alta	Tucumán	-	1998	374	140	78-82 84-90 92-100 123,5-125,5	-6,03	-13,63	65	7,6	6"-55 12"-129	
25	Siete Quebrachos	Los Pereyra Cruz Alta	Tucumán	-	1998		209	172-174 189-199 200-202,5	8	150	300	46,15	6"-206	pozo surgente Qs=6,5m³/h
26	Siete Quebrachos	Los Pereyra Cruz Alta	Tucumán	3621148,51 7021147,35	-	-	-	-	-	-	15			
27	Siete Quebrachos	Los Pereyra Cruz Alta	Tucumán	3625250 7024125		343,33	209	169,0 - 172,0 182,0 - 191,0 202,0 - 206,0	8	1,5	300		10,0" - 209	
28	Agua Dulce	Leales	Tucumán		1970		245		5		36		6"-37,8 4"-150 9¼"-88,20 7¼"-241,51	
29	Agua Dulce	Leales	Tucumán		1967		243		5		50		7¼"-242,15	
30	Agua Dulce	Leales	Tucumán		1952	303	118		6		40		5"-117	
31	Agua Dulce	Leales	Tucumán		1999		163	79-82 93-102 133-136	5,14	-6,4	68	5,89	6"-20 17"-42 4"-136	pozo surgente P°=0,51g/cm² Qs=24m³/h
32	El Sinqueal	Cruz Alta	Tucumán	3621750 7014250		350					16			Consumo Humano
33	El Sinqueal	Cruz Alta	Tucumán	3611443,02 7014292,21							15			Consumo Humano
34	Blanco Pozo		Tucumán		1980	279	280	240-244 252-254 263-266	-36.0	-6	4		12"-20 6"-192 9"-220 4"-276	

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE SECTOR
ESTE DEL DEPARTAMENTO CRUZ ALTA PROVINCIA
DE TUCUMÁN, REPÚBLICA ARGENTINA”**

**PEREZ
ANGELES
/ 2016**

RITA DE LOS

N°	LOCALIDAD	DEPARTAN	PROVINCIA	COORDENADAS	AÑO	COTA(m)	PROF. (m)	FILTROS	NE(m)	ND (m)	QB m³/h	QE m³/h	ENTUBADO (m)	OBSEVACIONES
35	Blanco Pozo		Tucumán		1972			165,20-166,50 177-180,30 196,50-197,30 217-220,70	1				4"-101	pozo surgente Qs=10000l/h
	Blanco Pozo				12									
	(otro)													
36	Estación Araoz Pozo Escuela Agrotécnica	Leales	Tucumán				119		0,5	-15,18	2		8,0" - 40,0	
37	Estación Araoz Pozo Escuela Agrotécnica	Leales	Tucumán		1998		140	86-91 105-11 113-116	1	-15,18	54	3,44	8"-26 15"-38 6"-68 12"-119	pozo surgente P°=50 g/cm² Qs=2,0m³/h
38	Estación Araoz Pozo Escuela Agrotécnica	Leales	Tucumán		1998		234	183-188 194-198 223-227	0,55	-12,97	70	5,5	8"-22 15"-80 6"-120 12"-230	pozo surgente Qs=22,0m³/h
39	Estación Araoz	Leales	Tucumán		1975		180,55	—	0,2		30		6"-56 4"-180,55	
40	Estación Araoz	Leales	Tucumán		1952	363	110	12-15 26-28 91-95 106-108 19-118	5		20		3"-47 ?"-110	
41	Tres Pozos		Tucumán		1967		180	117-119 160,8-165	5		21,94		8"-67 3"-110 8"-15 ?"-176,09	
42	Tres Pozos		Tucumán		1949		138	130-131 71-74,8 92-94	60		120		3"-94	
43	Tusquita		Tucumán		1955	300	140	82-85 93-96 106-109 125-128	8		28		4"-82	
44	Tusquita		Tucumán		1952	363	104,5	—	6		30		?"-97,50	
45	El Melón		Tucumán		1975		266,5		-9	-36	50		8"-63 15"-90 4"-248	

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE SECTOR
ESTE DEL DEPARTAMENTO CRUZ ALTA PROVINCIA
DE TUCUMÁN, REPÚBLICA ARGENTINA”**

**PEREZ
ANGELES
/ 2016**

RITA DE LOS

N°	LOCALIDAD	DEPARTAN	PROVINCIA	COORDENADAS	AÑO	COTA(m)	PROF. (m)	FILTROS	NE(m)	ND (m)	QB m³/h	QE m³/h	ENTUBADO (m)	OBSEVACIONES
46	El Melón		Tucumán		1998	373	180	89,0-93,0 99,5-102,5 142,7-144,7 152-154 161-164	-12,5	-28,02	60	3,86	8"-28 15"-40 6"-74 12"-174	
47	Cachi yaco	Leales	Tucumán	27°9'57,08" 64°59'25,58"	1969	330	171	153.5-156.50 169,0 -171,0	0,8		30		4"-28.50 3"-171	
48	Tacanas	Leales	Tucumán		1961	378	280	142-147 164-168 201-205- 243-247	-17		5		6"-60 4"-280	5000 l/h
49	Cañadas de Vicos		Tucumán	27°10'6,48" 64°55'17,28"	1996	338	217	104-109 116 -21 124-129 138-144 150-153 176-179 186-189 205-211	0.5	-18		10	12"-80 8"-216	
50	Cañadas de Vicos	Leales	Tucumán	27°8'39,45" 64°9'36,38"	1994	338	87	82-87	5,5			36	6"-80	Surgente
51	Tusca Pozo	Leales	Tucumán	27°15'34,8" 65°5'10.73"	1950	335	102,1	97.43-102.10	0.6		25			
52	Sta.Rosa de Leales Esc.	Leales	Tucumán		1972	333	156,09	113,16-116,6 124,19127,16 135,68139,10 147,94-151	5		79		10"-78 8"-99,15 6"-153,02	
53	Estación Araoz	Leales	Tucumán	27°2'16,47"S 64°56'34.34"O		366	110		5.5					
54	Estación Araoz	Leales	Tucumán	27°3'17.98"S 64°55'16.24"O		369	180.55		0.2					
55	Esc. Agrotécnica E. Araoz	Leales	Tucumán	3607624.2 7007716.5		364	119		1					

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE SECTOR
ESTE DEL DEPARTAMENTO CRUZ ALTA PROVINCIA
DE TUCUMÁN, REPÚBLICA ARGENTINA”**

**PEREZ
ANGELES
/ 2016**

RITA DE LOS

Planillas Química de las Perforaciones utilizadas en el capítulo Hidroquímica para realizar los distintos diagramas

Orden	Pozo	Localidad	prof. (m)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	As (mg/l)	Dureza (mg/l)	Alcal. (mg/l)	Cond. (uS/cm)	PH	Sólidos Totales
1	Esc. A. Estación Araoz	Leales	140	63	13	183	26	185	215	178	9	<0,05	20,9	152	1261	7,35	827
2	Agua Dulce	Leales	163	50	11	139	42	169	174	135	11	<0,1	17,08	139	1017	7,81	635
3	Esc. El Melon	Leales	180	69	13	164	28	162	210	166	9	<0,05	167	133	1167	6,88	752
4	Esc. Prov. N 327 Los Pereyra	Cruz Alta	140	63	14	164	19	230	156	141	13	<0,05	21,6	187	1183	7,29	770
5	Esc. Soldado Cajal	Las Cejas Cruz Alta	230	230	12	252	40	157	138	497	14	<0,05	24,3	129	1643	7,09	1225
6	Tres Pozos	Leales	180					202	200	150			180	122		6,5	656
7	Tres Pozos	Leales	138					129	213	165			120	100			650
8	Blanco Pozo	Cruz Alta	231					567	20	79	4		150	250			280
9	Blanco Pozo	Cruz Alta	274					202	126	475			170	125		7,9	1147
10	Tusquitas	Leales	104						257				160	171			890
11	Tacanas	Leales	280		13					234			180	170			
Pozos poco Profundos(100-200m)																	
Pozos Profundos(200-300m)																	

Orden	Nombre de la Perforación	Localidad	prof. (m)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (me/l)	HCO ₃ ⁻ "r%"	Cl ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (me/l)	Cl ⁻ "r%"	SO ₄ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (me/l)	SO ₄ ⁻ "r%"
1	Esc. Agrotecnica Estación Araoz	Leales	140	185	6,06	38,3	215	6,06	38,3	178	3,7	23,4
2	Agua Dulce	Leales	163	169	5,54	41,81	174	4,9	3,69	135	2,81	21,2
3	Esc. El Melon	Leales	180	162	5,31	37,15	210	5,92	39,7	166	3,45	23,13
4	Esc. Prov. N 327 Los Pereyra	Cruz Alta	140	230	7,54	50,7	156	4,4	29,59	141	2,93	19,7
5	Esc. A. Soldado Cajal	Las Cejas Cruz Alta	230	157	5,15	27,44	138	3,89	10,05	497	10,35	62,47
6	Tres Pozos	Leales	180	202	6,62	43,32	200	5,64	36,25	150	3,12	20,41
7	Tres Pozos	Leales	138	129	4,23	30,96	213	6	43,92	165	3,43	25,1
8	Blanco Pozo	Cruz Alta	231	567	18,59	89,41	20	0,56	2,69	79	1,64	7,88
9	Blanco Pozo	Cruz Alta	274	202	6,62	33	126	3,55	17,69	475	9,89	49,3
10	Tusquitas	Leales	104				257	7,24				
11	Tacanas	Leales	280							234	4,87	

Orden	Nombre de la Perforación	Localidad	prof. (m)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (meq/l)	Ca ⁺⁺ "r%"	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (me/l)	Mg ⁺⁺ "r%"	Na ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (me/l)	Na ⁺ "r%"	K ⁺ (mg/l)	K ⁺ (me/l)	K ⁺ "r%"
1	Esc. Agrotecnica Estación Aroaz	Leales	140	63	3,14	24,41	13	1,06	8,24	183	7,98	62,05	26	0,68	5,29
2	Agua Dulce	Leales	163	50	2,49	23,6	11	0,9	8,53	139	6,06	57,44	42	1,1	10,42
3	Esc. El Melon	Leales	180	69	3,44	27,78	13	1,06	8,56	164	7,15	57,75	28	0,73	5,89
4	Esc. Prov. N 327 Los Pereyra	Cruz Alta	140	63	3,14	26,32	14	1,15	9,64	164	7,15	59,93	19	0,49	4,11
5	Esc. Soldado Cajal	Las Cejas Cruz Alta	230	230	11,47	46,71	12	0,98	4	252	10,99	44,87	40	1,05	4
6	Tres Pozos	Leales	180												
7	Tres Pozos	Leales	138												
8	Blanco Pozo	Cruz Alta	231												
9	Blanco Pozo	Cruz Alta	274												
10	Tusquitas	Leales	104												
11	Tacanas	Leales	280				13	1,06							

Diagrama de clasificación de Stiff , utilizados en los Perfiles Geológicos

