



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CS. APLICADAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



Carrera: Licenciatura en Geología

Seminario

**Hidrogeología de la Zona Norte del Valle de
Lerma, Departamento Capital, Provincia de Salta.**

Alumno: Jorge Christian Vega Filippin.

M.U.N°: 272.

Directora: Mgter. Fátima Vilches.

Marzo 2018.

AGRADECIMIENTOS

A mi amada esposa e hija, madre y sobrinos por estar en las buenas y en las malas, y por todo el apoyo en esta etapa de mi vida.

A mi Directora Mgter Fátima Vilches por transmitirme sus conocimientos con humildad, por demostrarme su capacidad profesional, por sus sabios consejos, su paciencia, su predisposición y por la confianza depositada en mi persona. Mi mayor gratitud y respeto.

A todos los docentes por su aliento en mi formación educativa, su generosidad, hospitalidad y por sobre todo su calidad humana. A ellos estaré muy agradecido.

A mis compañeros y amigos que me ayudaron Luis, Exequiel, Franco. Gracias por la buena onda y predisposición.

A la empresa Conhidro S.R.L (Salta), por brindarme el espacio y tiempo, principalmente por la disponibilidad de equipos.

A la Universidad Nacional de Catamarca.

Gracias a todas esas personas que directa o indirectamente me ayudaron a concluir esta etapa.

INDICE GENERAL

RESUMEN

CAPITULO I (*Introducción*)

1.1	INTRODUCCION-----	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA-----	1
1.3	OBJETIVOS-----	2
1.3.1	Objetivo General-----	2
1.3.2	Objetivos Específicos-----	2
1.4	UBICACION Y VIAS DE ACCESO-----	2
1.5	ALCANCE-----	3
1.6	ESTRUCTURA-----	3

CAPITULO II (*Marco Teórico*)

2.1	GENERALIDADES-----	5
2.1.1	Antecedentes-----	6
2.2	Geofísica-----	6
2.2.1	Conceptos Básicos-----	7
2.2.2	Resistividad de las Rocas más comunes-----	8
2.2.3	Homogeneidad e Isotropía-----	10
2.2.4	Potenciales Naturales-----	10
2.2.5	Error y ruido-----	11
2.2.6	Líneas de corriente y superficies equipotenciales-----	12
2.2.7	Resistividad aparente-----	14
2.2.8	Dispositivos Eléctricos-----	15
2.3	CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS-----	19
2.3.1	Química del Agua-----	19
2.3.2	Aniones Mayoritarios-----	19
2.3.3	Cationes Mayoritarios-----	21
2.3.4	Principales gases disueltas-----	23
2.3.5	Aniones Minoritarios-----	25
2.3.6	Cationes Minoritarios-----	26
2.4	Análisis químicos-----	26
2.4.1	Características Físicas -Químicas de las Aguas-----	26
2.5	Interpretación Geoquímica del agua-----	30
2.5.1	Diagrama de Piper-----	30
2.5.2	Diagrama de Stiff modificado-----	31
2.5.3	Diagrama Columnares de Schoeller-Berkaloff-----	32
2.5.4	Agua de Riego-----	33

CAPITULO III (Metodología)

3	METODOLOGIA DE TRABAJO-----	38
3.1	RECOPIACION, INVENTARIO Y VALORACION DE ANTECEDENTES-----	38
3.2	ELABORACION DE CARTOGRAFIA BASE E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES-----	39
3.3	CARACTERIZACION DE LOS FACTORES EXTERNOS E INTERNOS-----	39
3.4	RECONOCIMIENTO DE CAMPO-----	41

CAPITULO IV (Resultados Obtenidos)

4.1	CARACTERIZACION CLIMATICA E HIDROGRAFICA-----	42
4.2	AMBIENTE GEOLOGICO-----	45
4.3	CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA LOCAL-----	50
4.4	PROSPECCION GEOELECTRICA-----	51
4.4.1	Perfiles Geológicos –Geofísicos-----	62
4.4.2	Perfil de Correlación Valle Intermontano Oeste-Este (A-A') -----	62
4.4.3	Perfil de Correlación Valle Intermontano Oeste-Este (B-B') -----	65
4.4.4	Perfil de Correlación Valle Intermontano Oeste-Este (C-C') -----	67
4.5	RELEVAMIENTO DE POZOS-----	69
4.6	CORRELACION HIDROESTRATIGRAFICAS-----	74
4.6.1	Secciones estratigráficas-----	74
4.6.2	Pozos ASP 1485, ATC I y VI-----	74
4.6.3	Pozos ATC VII, VIII, IX y La Candelaria-----	75
4.7	AMBIENTE HIDRODINAMICO-----	76
4.8	PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL RESERVORIO-----	77
4.8.1	Acuífero Superior-----	77
4.8.2	Acuífero Inferior-----	79
4.8.3	Captación de los Acuíferos Superior e Inferior-----	81
4.8.4	Caudal Específico-----	85
4.9	PIEZOMETRIA-----	87
4.10	CALIDAD FISICA Y QUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA-----	89

CAPITULO V (Conclusiones y Recomendaciones)

5.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----	93
-----	-------------------------------------	----

5.2 RECOMENDACIONES-----94

CAPITULO VI (Referencia)

6.1 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA-----95

CAPITULO VII (Bibliografía)

7.1 BIBLIOGRAFIA. -----97

CAPITULO VIII (Anexo)

8.1 Planillas de Sondeos Eléctricos Verticales Realizados.

8.2 Planilla de Análisis Físicos y Químicos.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Área de Estudio. ----- 3

Figura 1: Concepto de Resistencia y Resistividad. -----8

Figura 3: Mapa hidrográfico de la zona de estudio. -----44

Figura 4: Vista 3D, de la red de drenaje de la zona de estudio. -----44

Figura 5: Mapa geológico simplificado de la zona de estudio y alrededores. -----50

Figura 6: Mapa de ubicación de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). ----- 52

Figura 7: Modelo del SEV 01, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. ----- 53

Figura 8: Modelo del SEV 02, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----53

Figura 9: Modelo del SEV 03, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----54

Figura 10: Modelo del SEV 04, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----55

Figura 11: Modelo del SEV 05, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----55

Figura 12: Modelo del SEV 06, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. ----- 56

Figura 13: Modelo del SEV 07, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----57

Figura 14: Modelo del SEV 08, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----57

Figura 15: Modelo del SEV 09, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----58

Figura 16: Modelo del SEV 10, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----	59
Figura 17: Modelo del SEV 11, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----	59
Figura 18: Modelo del SEV 12, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----	60
Figura 19: Modelo del SEV 13, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----	61
Figura 20: Modelo del SEV 14, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas. -----	61
Figura 21: Ubicación de SEV y Pozos que forman parte de los perfilajes de correlación, en los Valles Intermontanos NNW y Este-----	62
Figura 22: Perfil Geológico A-A' – Geoelectrico Valle Intermontano. -----	64
Figura 23: Perfil Geológico B-B' – Geoelectrico Valle Intermontano. -----	66
Figura 24: Perfil Geológico C-C' – Geoelectrico Valle Intermontano-----	68
Figura 25: Mapa de ubicación de pozos en la zona de estudio-----	74
Figura 26: Correlación pozos ASP 1485, ATC I y ATC VI. -----	75
Figura 27: Correlación pozos ATC VII, ATC VIII, IX La Candelaria. -----	76
Figura 28: Curvas características del pozo ATC I. -----	78
Figura 29: Caudal vs depresión-Nivel dinámico- Pozo ATC I. -----	79
Figura 30: Depresiones finales y caudal específico y eficiencia. -----	80
Figura 31: Curvas características del pozo La Candelaria. -----	80
Figura 32: Caudal vs depresión-Nivel dinámico- Pozo La Candelaria. -----	81
Figura 33: Curva de descensos versus tiempo-Pozo ATC IX.-----	82
Figura 34: Caudal vs depresión-Nivel dinámico-Pozo ATC IX. -----	83
Figura 35: Curva Walton-Pozo IX. -----	84
Figura 36: Curva Walton-Pozo piezométrico del ATC IX. -----	84
Figura 37: Caudal específico-Acuifero superior, pozos ATC I, VII y El Molino. -----	85
Figura 38: Caudal específico-Acuifero inferior, pozos ASP 1485, La Candelaria y Las Paltas -----	86
Figura 39: Caudal específico-Acuifero Superior e inferior, pozos ATC VI, VII y IX. -----	86
Figura 40: Piezometria-Acuifero Superior, pozos ATC I, VII, y El Molino. -----	87
Figura 41: Piezometria-Acuifero inferior, pozos ATC I, ASP 1485, La Candelaria y Las Paltas -----	88

Figura 42: Piezometria-Acuifero Superior e inferior, pozos ATC VI, VIII y IX -----88

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Circuito de emisión –recepción de corriente y circuito de medición de caída de potencial en el método Schlumberger. -----7

Gráfico 2: Comparación entre los valores de resistividad de sedimentos secos, saturados con agua dulce y saturada con agua salada (Fuertes, 1979 in García, 2003 y García Maurizzio, 2013). -----10

Gráfico 3: Superficies equipotenciales alrededor de un electrodo (tomado de García, 2003 y García Maurizzio, 2013). -----13

Gráfico 4: Líneas de corriente y equipotenciales en una vista en planta, generadas por dos electrodos conectados en superficie (tomado de García, 2003). -----13

Gráfico 5: Esquema de medición de la resistividad aparente en un terreno compuesto por dos capas horizontales de resistividad diferente (García Maurizzio, 2013). -----15

Gráfico 6: Esquema del dispositivo Schlumberger (visto en planta). -----16

Gráfico 7: Gráfico bilogarítmico representando la curva de campo empalmada (en negro) y la curva de interpretación optimizada que responde al modelo físico - matemático más ajustado (en rojo). En azul se muestran los parámetros de Dar Zarruouk, que representan las resistividades y espesores verdaderos. -----18

Gráfico 8: Representación de las precipitaciones en La Estación El Angosto de Mojotoro. -----43

Gráfico 9: Diagrama Piper – Langelier para clasificación geoquímica del agua subterránea explotada por los pozos. -----92

Gráfico 10: Diagrama de Wilcox, representando los pozos. -----93

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ejemplos de resistividad verdadera de rocas más comunes, sedimentos y agua (Loke, 1999 en Burgos, 2011). -----9

Tabla 2: Factores que influyen en la elección de dispositivos. Nota: A corresponde a la opción más favorable, mientras que C corresponde a la peor. La letra B corresponde a un valor intermedio, en orden de preferencia. -----16

Tabla 3: Datos de precipitaciones y temperaturas medias de la Estación El Angosto de Mojotoro. -----42

Tabla 4: Características constructivas de los pozos existentes y censados del área de estudio. -----72

Tabla 5: Depresiones finales y caudal específico para el ensayo escalonado. -----77

Tabla 6: Depresiones finales, caudal específico y eficiencia. -----78

Tabla 7: Caudal proyectado a extraer vs depresión calculada teórica. -----	79
Tabla 8: Depresiones finales, caudal específico para el ensayo escalonado. -----	81
Tabla 9: Caudal proyectado a extraer vs depresión calculada teórica. -----	83
Tabla 10: Características constructivas de los pozos existentes y censados del área de estudio. -----	85
Tabla 11: Características constructivas de los pozos existentes y censados del área de estudio. -----	87
Tabla 12: Análisis físicos y químicos del agua subterránea explotada y su comparación con los valores guía del CAA. -----	90

INDICE DE FOTO

Foto 1: Equipo de geoelectrónica digital en corriente continua. -----	17
---	----

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se desarrolló con el objetivo de cumplimentar con lo estipulado en el Plan de Estudios 2004 de la carrera de Licenciatura en Geología, de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, para acceder al título de Licenciado en Geología.

El objeto principal del trabajo fue contribuir al conocimiento hidrogeológico del área de estudio, identificando zonas aptas para la prospección de agua subterránea y también su calidad química.

Se utilizaron las clásicas metodologías de investigación hidrogeológica. Comenzando con la evaluación y valoración de antecedentes que consiste en la recopilación de la bibliografía asociada a la zona de estudio.

La elaboración de cartografía base, se realizó utilizando imágenes satelitales, Landsat 8 usando diferentes softwares para su procesamiento.

Las técnicas de prospección geofísica permitieron la realización de una red de 14 SEV (Sondeos Eléctricos Verticales), de los cuales dos se reinterpretaban. La interpretación del modelo físico - matemático obtenido mediante la prospección geofísica, resultó del análisis del medio natural geológico de la región y de la configuración del modelo de curva.

Con la integración de la información litológica y geofísica de los pozos más los SEV, se construyó perfiles geológicos-geofísicos, logrando determinar zonas de interés hidrogeológico o zona saturada, dando mayores espesores sobre los SEV 01 al SEV 02.

En forma conceptual y usando las herramientas hidráulicas de los pozos, se identificó dos acuíferos uno superior y otro inferior, mostrando parámetros hidráulicos diferentes entre ambos acuíferos verificados por el caudal específico y las direcciones de flujo para cada acuífero.

La hidrogeoquímica analizada de los pozos, muestra en la zona de estudio que ambos acuíferos explotados, son aptos para el consumo humano y para el uso de riego.

Con el estudio realizado se determinó que la zona presenta condiciones hidrogeológicas aceptables solo para abastecimientos de una población de baja densidad.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1. INTRODUCCION

La zona de estudio se localiza en la zona Norte del Valle de Lerma, que es una depresión intermontana de origen estructural y fluvial, emplazado en la provincia geológica Cordillera Oriental, en la Provincia de Salta, en el noroeste de la República Argentina. El área de estudio corresponde a una pequeña depresión intermontana que se desarrolla en sentido Noroeste – Sudeste al Valle de Lerma, conocido como *Acceso Norte*, dentro de la Sierra de Mojotoro.

Los sistemas de serranías que delimitan el valle tienen rumbos submeridianos. Existe una marcada asimetría en las elevaciones de los cordones que enmarcan la depresión, ya que al occidente éstas superan los 4.000 metros sobre el nivel del mar, con cumbres de hasta 5.800 m.s.n.m., mientras que las serranías que constituyen el límite oriental en general poseen 2.000 metros de altitud y excepcionalmente alcanzan los 3.000 m.s.n.m. Esta característica fisiográfica ejerce una marcada influencia sobre los factores climáticos, especialmente las precipitaciones, que condicionan los fenómenos geomorfológicos y a su vez constituyen la recarga principal del sistema acuífero.

El trabajo que se presenta, tiene como finalidad comprender las condiciones hidrogeológicas del área de estudio y pretende establecer las características hidrogeológicas más sobresalientes, aplicando las metodologías apropiadas para la investigación hidrogeología, individualizando las zonas aptas para la explotación, con producción de agua de aceptable calidad físico-química, principalmente para el consumo humano.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio del agua subterránea como sistema o unidad de trabajo, proporciona un instrumento fundamental para el desarrollo o provisión en el territorio de su cantidad, calidad, y disponibilidad. Esto constituye una expresión genuina del medio ambiente que la rodea, en donde se plasma enteramente el ciclo hidrológico, con su importancia temporal e interdependencia de sus componentes.

En el extremo septentrional del valle de Lerma se encuentra la ciudad de Salta, capital de la provincia homónima. La ciudad capital registra un notable crecimiento demográfico cuyo abastecimiento de agua depende de la explotación de los acuíferos, los cuales están directamente vinculados a las cuencas hidrológicas situadas en el área montañosa circundante, lugar de donde se origina la recarga principal de los mismos.

En la zona de estudio las aguas subterráneas son aprovechadas en forma intensiva, tanto para agua potable, como agropecuario e industrial. Debido a los contrastes estacionales en la disponibilidad de agua superficial, los acuíferos tienen una importancia estratégica como reguladores de los recursos hídricos. Este estudio permitirá comprender las condiciones hidrogeológicas más sobresalientes del área de estudio, individualizando las zonas aptas para la explotación, con producción de agua aceptable para el consumo humano.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar las características del ambiente hidrogeológico del acceso Norte de la Ciudad de Salta, a través de distintos métodos a fin de definir zonas favorables para la ejecución de obras de captación profunda para el abastecimiento de agua.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar y analizar estudios hidrológicos e hidrogeológicos del área de estudio y zonas circundantes.
- Estudiar el entorno geológico y geomorfológico para identificar áreas de interés hidrogeológico.
- Emplear métodos eléctricos de corriente continua, mediante Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)- 1D.
- Realizar un tratamiento e interpretación de los registros o datos obtenidos en el campo, como así también reinterpretar datos de sondeos antecedentes.
- Efectuar correlaciones litológicas e hidráulicas, sobre la base de información existente en legajos técnicos de perforaciones.
- Integrar la información de pozos y SEV para efectuar la interpretación del medio de circulación identificando, zona no saturada, nivel de interés hidrogeológico y, cuando sea posible, el basamento.

1.4 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio se encuentra aproximadamente al noreste de la ciudad de Salta, departamento Capital, Provincia de Salta. Desde la ciudad de Salta Capital se accede a la zona mediante la ruta nacional N° 9/34, con dirección noreste hasta la rotonda de circunvalación (8 km aproximadamente) y luego, hacia el norte y noroeste, ingresando al pequeño valle intermontano. Siguiendo esta ruta, se puede ingresar al sector Norte de la ciudad de Salta Capital, (Fig.1).

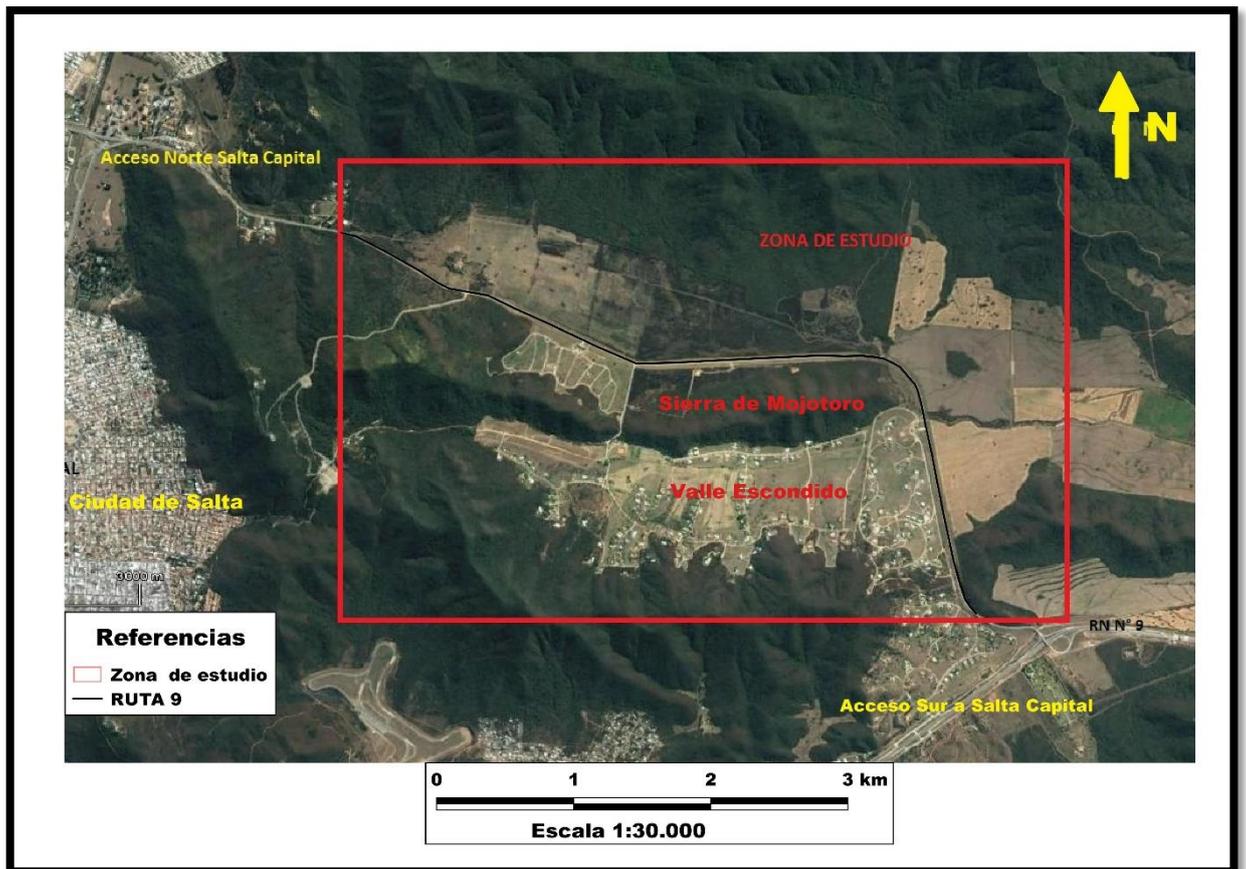


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

1.5 ALCANCE

Con el trabajo de investigación técnico-científico, "Hidrogeología de la zona Norte del Valle de Lerma, Departamento Capital, Provincia de Salta", el cual tiene como objeto poder cumplir con lo establecido en el plan de estudio de la carrera Licenciatura en Geología, de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, de la Universidad Nacional de Catamarca, la realización del seminario para obtener el título de Licenciado en Geología. Con la investigación se espera contribuir al conocimiento hidrogeológico del área de estudio, identificando zonas aptas para la prospección de agua subterránea y también su calidad química.

1.6 ESTRUCTURA

El trabajo de investigación está compuesto de 8 (ocho) capítulos. El capítulo I, contiene la introducción a la temática y generalidades, marcando claramente los objetivos planteados y el alcance del estudio. El capítulo II, abarca las herramientas teóricas necesarias para el desarrollo del trabajo. El capítulo III, contiene la metodología aplicada para la investigación realizada.

Con la temática aplicada en los primeros tres capítulos, se realiza el capítulo IV, que muestra los resultados obtenidos, en él se describe, caracterización climática e hidrografía, Ambiente geológico, prospección geoelectrica, propiedades hidráulicas de los acuíferos, etc.

Hidrogeología de la zona Norte del Valle de Lerma, Departamento Capital, Provincia de Salta.

El capítulo V, muestra las conclusiones y recomendaciones obtenidas de los resultados alcanzados. El capítulo VI, involucra la información y bibliografía citadas en el trabajo, El capítulo VII, contiene toda la información no citada en el cuerpo del trabajo. El capítulo VIII, denominado anexos, contiene las planillas de Sondeos Eléctricos Verticales realizados y resultados de análisis físicos químicos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 GENERALIDADES

La Hidrogeología o la Hidrología Subterránea es una ciencia interdisciplinaria que tiene como finalidad establecer las propiedades hidráulicas de los yacimientos de agua subterráneas, sus características físicas, biológicas y químicas, la forma de localizarla, extraerla y manejarla, como así también preservarla, teniendo presente el ambiente y la historia geológica de una región. Para ello es preciso aplicar numerosas leyes, principios y métodos de otras disciplinas.

Desde hace mucho tiempo, numerosos investigadores han intentado sintetizar el almacenamiento de agua de la Hidrosfera y establecer su balance. Casi la totalidad de agua del planeta se encuentra en los océanos (97%). Su volumen equivale a la evaporación oceánica media anual durante 3000 años por lo que este valor puede tomarse como un orden de magnitud del tiempo que una molécula de agua permanece en el océano. En contraste, el volumen medio de vapor de agua que contiene la atmosfera equivale a 25 mm de lluvia. Si se tiene presente que la precipitación media anual en la tierra es de 1.000 mm, resultaría una lluvia media diaria de 2,7 mm, de lo que resulta que el tiempo de residencia de una molécula de agua en la atmosfera es de unos 8 o 10 días (Custodio & Llamas, 1996).

Del agua en el planeta solo el 3 % es agua dulce o de baja salinidad. De este volumen total de agua dulce, estimado en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, poco más del 75 % está concentrado en los casquetes polares, en las nieves eternas y glaciares; el 21 % está almacenado en el subsuelo, y el 4 % restante corresponde a los cuerpos y cursos de agua superficial como lagos y ríos (www.conagua.gob.mx). De toda el agua consumida en el mundo, aproximadamente el 8 % es empleado para consumo humano, la industria utiliza aproximadamente el 23 % y el resto (69 %) se aprovecha en el riego de plantaciones. Se piensa que el consumo de agua en el planeta crece dos veces más rápido que el aumento demográfico y se cree (OMS, 1999 in García y Rocha, 2007) que ya se utilizó la mitad de los recursos disponibles.

Dentro de este contexto, cabe señalar que, el concepto de ciclo hidrológico involucra el movimiento o transferencia de las masas de agua desde un lugar a otro y desde un estado a otro. El movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente al "sol" que proporciona la energía suficiente para elevar el agua del suelo o de un cuerpo de agua superficial, al evaporarla. Otro factor de importancia es la fuerza de la gravedad, que permite que el agua condensada precipite y que una vez caída sobre la superficie, escurra hacia zonas más deprimidas (Custodio & Llamas, 1996). El ciclo del agua se inicia cuando una parte del vapor de agua de la atmosfera se condensa y se originan las precipitaciones en forma de lluvia o nieve. Se debe tener presente que no toda la lluvia alcanza la superficie de la tierra, ya que una parte se vuelve a evaporar inmediatamente durante su caída y otra es retenida o interceptada por la vegetación o por las superficies de edificios, carreteras, etc., y vuelve a la atmosfera en forma de vapor. De aquella agua que alcanza la superficie del terreno, una parte es retenida en pequeñas depresiones (charcos y aguadas) y en gran proporción retorna casi inmediatamente a la atmosfera por evaporación.

Otra parte circula sobre la superficie y se concentra en pequeñas arroyadas y líneas de drenaje, que se reúnen en arroyos y luego en ríos, constituyendo el agua de escurrimiento

superficial, que tiene como destino final un lago o el mar, desde donde será evaporada o bien, se infiltrará en el terreno por donde circula.

El agua subterránea fluye a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos. La mayoría de estos devuelve el agua a los mares o la lleva a cuencas cerradas donde se evapora. El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en cada momento en los continentes. Éstas están almacenadas en acuíferos, ubicados a diferentes niveles de profundidad. Se pueden encontrar aguas subterráneas en casi cualquier parte, trátase de zonas húmedas, áridas o semiáridas. El agua del subsuelo es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación.

2.1.1 Antecedentes

Se realizó la recopilación y valoración de los antecedentes vinculados a los recursos hídricos subterráneos de la zona de estudio. Entre otros se consultó Prospección Geoeléctrica Profunda Loteo Valle Escondido (Conhidro, 2005); Informe Técnico de Pozo Altos de Tres Cerritos VIII, Valle Escondido (Conhidro, 2005); Prospección Geoeléctrica Predio Las Paltas Catastro 162.248 (Conhidro, 2011). Se obtuvo información parcial de los pozos Las Paltas y La Candelaria.

2.2 Geofísica

La Geofísica es una ciencia natural que utiliza los postulados fundamentales de la Física para investigar el comportamiento de algunos componentes de nuestro planeta como el campo magnético, la densidad de las rocas, su capacidad para conducir la corriente eléctrica y las ondas sísmicas, el movimiento de los continentes y los fondos marinos, entre otros.

La Exploración o Prospección, se refieren a la búsqueda y ubicación de reservorios de agua subterránea. Los métodos de exploración hidrogeológica se pueden clasificar en forma general, como aquellos que emplean técnicas de aplicación directa o indirecta.

Los métodos de exploración directa hacen referencia a los estudios geológicos e hidrogeológicos. Los métodos de exploración indirecta hacen referencia a los estudios sobre imágenes y fotografías aéreas, relevamientos geofísicos y perforaciones.

Los métodos geoeléctricos más empleados en Hidrogeología se basan en la inyección artificial de una corriente eléctrica (sondeos eléctricos verticales SEV y calcatas eclécticas CE); de menor utilidad son la polarización inducida (PI) y el potencial espontáneo (PE), este último basado en la medición de campos eléctricos naturales.

La Prospección Geoeléctrica es un tipo específico de estudios geofísicos donde se prospecta alguna propiedad eléctrica de las rocas y de los fluidos que se encuentran rellenando los intersticios porales.

La característica física que se mide en el método resistivo, empleando corriente continua, es la capacidad que poseen los terrenos naturales de conducir la corriente eléctrica. Si en un terreno cualquiera se introduce una corriente eléctrica, ésta se propaga de forma tal que es posible asignarle al terreno una resistividad o resistencia específica, una capacitancia y una

inductancia. Si la corriente eléctrica empleada es continua, la resistividad es el único parámetro que tiene importancia.

Se debe tener presente que solo son conductores los materiales metálicos y algunas de sus sales. Por lo tanto, normalmente, el suelo y subsuelo se comportarían como aislante o de resistividad muy alta. Generalmente, en la mayoría de los terrenos existen poros y/o fisuras que pueden estar o no saturados de agua u otro fluido. El agua, por la presencia de sales disueltas, en una proporción que depende a la vez de la temperatura, actúa como un conductor. La resistividad de las rocas dependerá, por lo tanto, del volumen de sus poros, de su distribución y de la resistividad del fluido que los rellena. Se comprende así porque no es posible clasificar en forma simple a los terrenos por su resistividad, ya que esta característica eléctrica está ligada a la porosidad, al contenido de agua u otro fluido, a la temperatura del fluido, etc.

La adquisición de los registros geoelectrónicos, se efectuó a través de la aplicación de las técnicas de prospección correspondiente a los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

2.2.1 Conceptos Básicos

Si se introduce un par de electrodos (A y B) en la superficie plana de un terreno homogéneo e isótropo y se hace circular una corriente eléctrica continua de intensidad (I), se puede registrar la caída de potencial (ΔV) que existe en superficie, entre dos puntos del terreno (M y N). A través de estas medidas y en base a la ley de Ohm, puede conocerse la resistividad de los terrenos involucrados en el circuito (Gráfico 1).

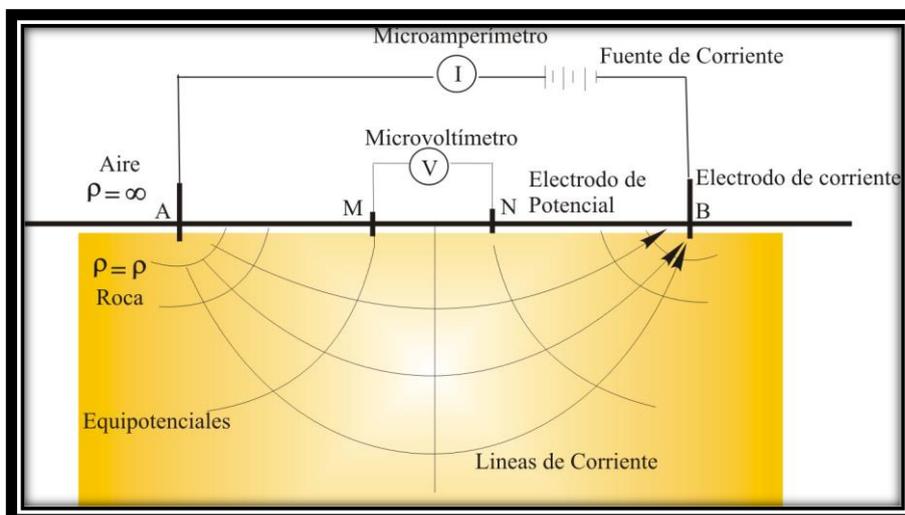


Gráfico 1: Circuito de emisión – recepción de corriente y circuito de medición de caída de potencial en el método Schlumberger.

La *Ley de Ohm* expresa que la resistencia (R) que ofrece un conductor al flujo de una corriente es directamente proporcional a la diferencia de potencial (ΔV) entre los extremos del material e inversamente proporcional a la intensidad (I) del flujo de corriente, (Fig.2). La unidad de medida de la resistencia es el Ohmio.

$$R = \Delta V / I$$

A su vez la Resistencia (R) del conductor es directamente proporcional a la longitud (L) del material considerado, e inversamente proporcional a su sección (A), multiplicada por una constante de proporcionalidad, conocida como resistividad ρ (Rho), que es una propiedad intrínseca de cada material.

$$R = (L/A) \times \rho$$

La unidad de medida de la resistividad es el Ohmio. Metro ($\Omega.m$).

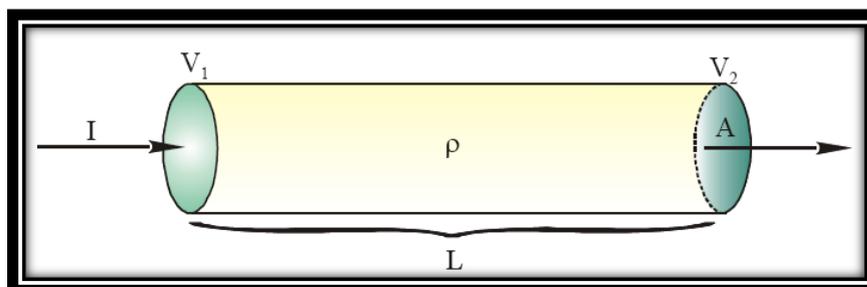


Figura 2: Concepto de Resistencia y Resistividad.

Teniendo en cuenta la dependencia de la resistencia con los parámetros geométricos del sistema y con ρ , se puede re-escribir la Ley de Ohm de la siguiente forma:

$$\rho = (\Delta V/I) \times (A/L) \qquad \rho = (\Delta V/I) \times K$$

Donde, **K** es un factor geométrico que contiene la información correspondiente a los parámetros de forma del sistema. La resistividad eléctrica varía en función de las características del terreno. Algunos de los factores que lo influyen son (García Maurizzio, 2013):

- ✓ El grado de saturación del terreno.
- ✓ La temperatura.
- ✓ Porosidad y la forma de los poros.
- ✓ La salinidad del fluido.
- ✓ El tipo de roca.
- ✓ Los procesos geológicos que afectan a los materiales.
- ✓ La presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico.

2.2.2 Resistividad de las Rocas más comunes

Los materiales que componen la corteza terrestre son en general aislantes o malos conductores, ya que sólo se comportan como conductores, los metales y alguna de sus sales. Esto significa que las rocas poseen en general resistividades muy elevadas. El agua pura también tiene resistividad muy alta, pero la presencia de sales disueltas la convierte en un conductor electrolítico (García, 2003). La mayor parte de las rocas que componen la porción más superficial de la corteza, están meteorizadas en mayor o menor medida y poseen fisuras o poros, en los que en general se encuentra un cierto contenido de humedad. El agua contenida en los poros generalmente posee sales disueltas que contribuyen a

aumentar la capacidad de conducir la corriente eléctrica (García Maurizzio, 2013). El agua pura es muy poco conductora a causa de su muy reducida disociación. Sin embargo, las aguas que se encuentran en la naturaleza presentan, conductividad apreciable, pues siempre tienen disuelta alguna sal, generalmente NaCl. Así las aguas de lagos y arroyos de alta montaña varían entre $10^3 \Omega m$ y $3 \times 10^3 \Omega m$, las aguas subterráneas tienen resistividades de 1 a $20 \Omega m$, y las aguas marinas tienen una resistividad de unos $0,2 \Omega m$.

Las rocas cristalinas poseen poca porosidad, la conducción se produce principalmente por presencia de fluidos que ocupan las fracturas. Las rocas ígneas tienden a presentar los valores más altos y las sedimentarias los valores más bajos, debido principalmente al alto contenido de fluidos intersticiales. Por su parte, las rocas metamórficas tienen valores intermedios de resistividad. No hay una correlación directa entre las características litológicas de las rocas y su resistividad. Sin embargo, se puede hacer un tipo de generalización, dando como orden creciente en resistividad a las arcillas, arenas y gravas, calizas y valores aún más altos para las rocas cristalinas. En síntesis, las rocas y minerales con resistividades menores que $1 \Omega m$ son considerados buenos conductores; aquellos con resistividades entre 1 y $10^7 \Omega m$ conductores intermedios y los que poseen resistividades por encima de $10^7 \Omega m$ se consideran malos conductores. En la tabla 1, se reflejan valores de resistividad verdadera de algunos materiales de interés geológico.

Tabla 1: Ejemplos de resistividad verdadera de rocas más comunes, sedimentos y agua (Loke, 1999 en Burgos, 2011).

MATERIAL	RESISTIVIDAD VERDADERA (Ohm.m)	MATERIAL	RESISTIVIDAD VERDADERA (Ohm.m)
Granito	$5 \cdot 10^3 - 10^5$	Arenisca	$8 - 4 \cdot 10^3$
Basalto	$10^3 - 10^6$	Caliza	$50 - 4 \cdot 10^2$
Pizarra	$6 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^7$	Arcilla	1 - 100
Mármol	$10^2 - 2,5 \cdot 10^8$	Agua subterránea dulce	10 - 100
Cuarcita	$10^2 - 2 \cdot 10^8$	Agua marina	0.2
Esquisto	$20 - 2 \cdot 10^3$	Sedimentos aluviales	10 - 800

En las rocas consolidadas, el grado de meteorización o bien el de fisuración es el que determina el volumen de espacios vacíos, mientras que, en los sedimentos, la porosidad está relacionada directamente con la granulometría. Esto significa que, a mayor granulometría, mayor resistividad, tal como se aprecia en la tabla 1.

Pero como la resistividad depende también del grado de saturación, se da el caso que una grava saturada puede tener una resistividad similar a la de una arena seca, o bien que un limo desecado puede ser igual de resistivo que una arena saturada.

La situación se complica aún más si se agrega que el contenido de sales del agua intersticial es inversamente proporcional a la resistividad. Una arena saturada con agua salobre puede poseer igual resistividad que una arcilla, (Grafico 2).

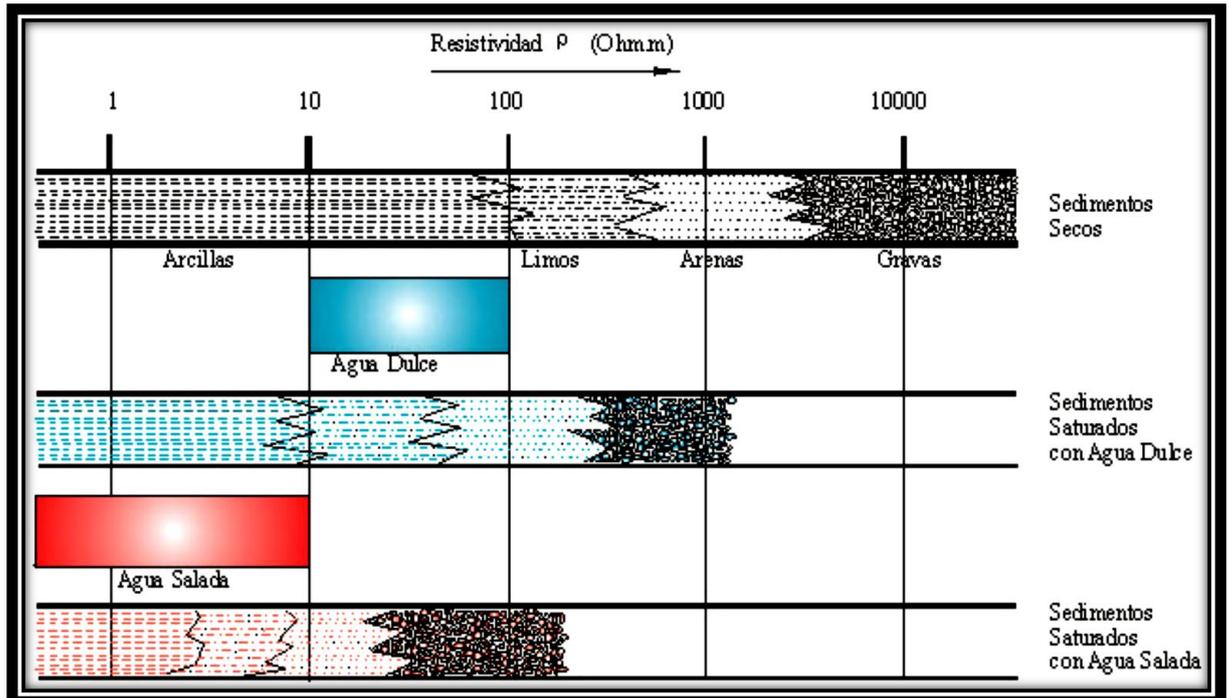


Gráfico 2: Comparación entre los valores de resistividad de sedimentos secos, saturados con agua dulce y saturada con agua salada (Fuentes, 1979 in García, 2003 y García Maurizio, 2013).

2.2.3 Homogeneidad e Isotropía

Los valores de resistividad mencionados hacen referencia a materiales homogéneos e isotropos, que son condiciones más bien excepcionales en la naturaleza. Un medio es homogéneo cuando sus propiedades son constantes, en cualquier lugar del mismo; si esas propiedades varían, el medio es heterogéneo. Estrictamente, todo medio poroso o fracturado es un medio heterogéneo por naturaleza. Pero como a efectos prácticos sólo interesan las propiedades promedio, un medio en sí es homogéneo si las propiedades promediadas en un cierto volumen de material alrededor de cada punto considerado no varían de un lugar a otro.

La resistividad de algunos minerales, y como consecuencia de las rocas que estos forman, varía según la dirección de medida que se toma, es decir, que presentan anisotropía. La formación de estratos puede producir anisotropía. Tal es el caso de las rocas sedimentarias. En general este efecto será débil dada la aleatoriedad de las orientaciones de los minerales en la roca.

2.2.4 Potenciales Naturales

En un terreno, la existencia de potenciales naturales es un fenómeno que, si bien es utilizado como método de prospección, como es de suponer crean inconvenientes al momento de realizar mediciones tendientes a determinar la resistividad de las rocas.

El origen de los potenciales naturales obedece a diversas causas: la oxidación de minerales conductores, los desequilibrios iónicos que se generan en el contacto entre dos terrenos diferentes en contacto, el desbalance iónico que produce la circulación del agua

transportando sales, etc. Estos potenciales naturales pueden registrarse mediante electrodos y alcanzan diferencias de hasta 1 a 6 milivoltios por metro de separación. En el método de prospección eléctrica en corriente continua los potenciales naturales constituyen “ruido” en la medición de la diferencia de potencial que se induce artificialmente, y deben ser registrados y compensados o filtrados mediante dispositivos especiales (García, 2003 y García Maurizio, 2013).

2.2.5 Error y ruido

A través de los electrodos M y N no llega solamente la ΔV debida al campo del circuito de emisión, que es la señal que se desea medir, sino también algunas tensiones indeseadas o ruidos que deben ser registrados y compensados o filtrados mediante dispositivos especiales (García Maurizio, 2013).

Error: serían todos aquellos errores asociados al propio proceso de adquisición de datos.

Producidos por:

- ✓ Polarización del electrodo
- ✓ Efecto contacto suelo – electrodo
- ✓ Deriva (variaciones temporales del valor de la polarización)

Debido a variaciones de:

- ✓ Humedad del suelo
- ✓ Química del fluido
- ✓ Temperatura

Ruido (o tensiones perturbadoras): serían todos aquellos potenciales generados de forma natural (polarización espontánea, corrientes telúricas) o artificial (ferrocarriles eléctricos, instalaciones industriales o mineras, etc.). Pueden estar generados por:

- ✓ Cambios de las propiedades del terreno debido a lluvias, cambios de temperatura o actividades humanas.
- ✓ Variaciones en los campos de corrosión debido a los cambios de las propiedades del suelo
- ✓ Corrientes telúricas.
- ✓ Corrientes eléctricas debido a la actividad humana.
- ✓ Efectos topográficos.
- ✓ Corrosión de elementos metálicos enterrados.

La relación señal - ruido está estrechamente relacionada con el valor de la constante **K** de cada dispositivo y para el mismo modelo de subsuelo. La señal es inversamente proporcional al factor geométrico usado para calcular el valor de resistividad aparente.

2.2.6 Líneas de corriente y superficies equipotenciales

La medición de la resistividad de un material requiere de un circuito eléctrico que conecte al mismo con la fuente de emisión y los instrumentos de medida. Si en un medio homogéneo e isótropo se coloca un electrodo en un punto de la superficie plana de un cuerpo dado, con resistividad (ρ), y otro electrodo a una distancia muy grande (en teoría en el infinito), la corriente de intensidad (I) se propaga en forma radial divergente en el semiespacio inferior (la resistividad del aire es infinita, por lo tanto la corriente no se propaga), de tal manera que el potencial creado en un punto cualquiera (A) del semiespacio, a distancia a del electrodo, está dado por la ley de Ohm:

$$(1) V = \rho \times I \times \frac{L}{S} \quad \text{La superficie de una semiesfera es } S = 2\pi a^2$$

Por lo que el potencial de un punto estará dado por:

$$(2) V_A = \rho \times I \times \left[\frac{a}{2\pi a^2} - \frac{b}{2\pi b^2} \right]$$

Simplificando

$$(3) V_A = \frac{\rho \times I}{2\pi} \times \left[\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right]$$

Como la distancia b es muy grande, el segundo término puede despreciarse y la expresión queda reducida a:

$$(4) V_A = \rho \times I \times \frac{a}{2\pi a^2}$$

De la fórmula se deduce que los potenciales irán disminuyendo a medida que aumenta la distancia del electrodo. Los puntos del espacio con igual potencial, determinaran superficies equipotenciales con forma de semiesferas concéntricas (Gráfico 3).

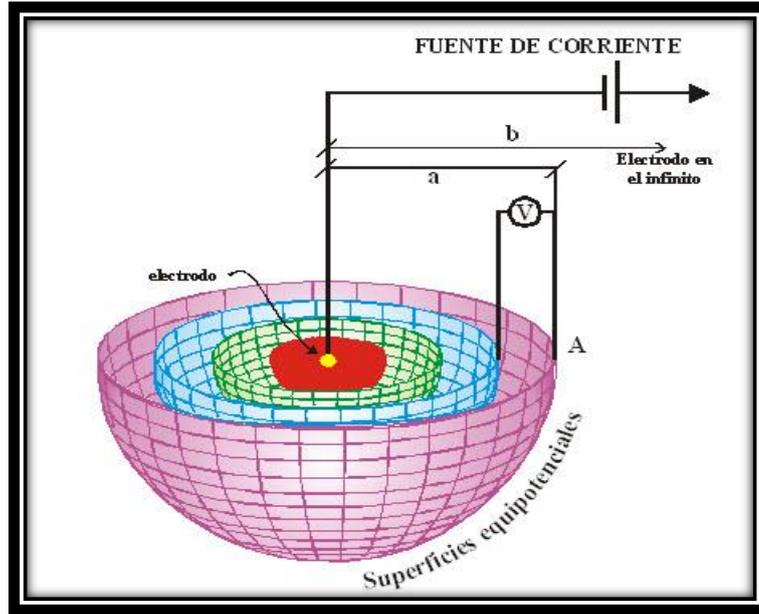


Gráfico 3: Superficies equipotenciales alrededor de un electrodo (tomado de García, 2003 y García Maurizio, 2013).

Ahora el generador de corriente, se conecta a dos electrodos de corriente situados en el suelo, A y B, considerados puntuales. La corriente, de intensidad I , penetra en el subsuelo por A y luego de recorrerlo sale por B. Se mide entonces la diferencia de potencial (ΔV) entre dos puntos M y N a través de otro par de electrodos. En este dispositivo la intensidad de la corriente disminuye con la profundidad.

Si se tiene presente que el potencial es máximo en uno de los electrodos y mínimo en el otro, el gradiente de potencial puede graficarse en forma de líneas equipotenciales, que se disponen en forma perpendicular a las líneas de corriente. Vistas desde superficie, estas equipotenciales poseen la siguiente disposición, (Gráfico 4):

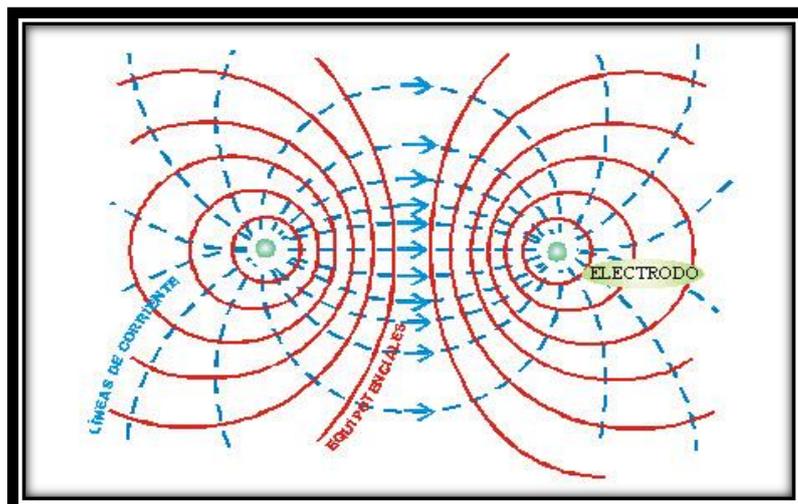


Gráfico 4: Líneas de corriente y equipotenciales en una vista en planta, generadas por dos electrodos conectados en superficie (tomado de García, 2003).

La diferencia de potencial entre los puntos M y N:

$$(7) \Delta V = I\rho \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} \right)$$

Donde, AM representa la distancia entre el electrodo A y el electrodo M, AN la distancia entre el electrodo A y el N y así respectivamente. El segundo término de esta ecuación tiene dos factores, uno que incluye la resistividad (ρ) y la intensidad de corriente (I), y otro que describe la disposición geométrica de los electrodos, es decir, los parámetros geométricos del sistema. La ecuación (7) puede reordenarse de la siguiente forma:

$$(8) \sigma = K \frac{\Delta A}{I}$$

que, coincide con la expresión para la resistividad del prisma estudiado anteriormente y en donde K es el factor geométrico que guarda la información de la disposición espacial de los electrodos de la siguiente forma:

$$(9) K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} \right)}$$

Si el medio es homogéneo, para una misma corriente de inyección, la resistividad medida ρ será independiente de la posición de los electrodos de inyección y detección cuando estos se intercambian. Esta propiedad se conoce con el nombre de *principio de reciprocidad* (Orellana, 1982). En la práctica no es conveniente colocar los electrodos M y N tan separados como suelen estar los A y B, pues al ser grande la distancia entre los primeros, la medida se vería afectada por las corrientes telúricas, parásitas, industriales, etc., cuyo efecto aumenta proporcionalmente con la distancia entre M y N.

2.2.7 Resistividad aparente

Hasta el momento se ha visto la medición de la resistividad en un medio homogéneo e isótropo; sin embargo, el componente geológico natural (como ya se ha expresado) no es isótropo ni homogéneo. En general la resistividad calculada corresponderá a la resistividad aparente (ρ_a) del terreno y no a la resistividad real. Ello se debe a que el subsuelo generalmente está compuesto por distintas capas superpuestas, constituidas por distintos materiales, por lo que el campo eléctrico introducido en el terreno afectará simultáneamente a diversas capas, de forma que la resistividad medida corresponderá a una integración de los valores medios, en los que inciden la anisotropía y la heterogeneidad del terreno y la posición relativa de los electrodos. Solo para suelos homogéneos o para profundidades de investigación muy superficiales, el valor de resistividad medido coincidirá con el de la resistividad real. Si en el circuito de emisión - recepción están involucradas dos capas o más, la resistividad que se medirá en superficie será un promedio entre las resistividades de los materiales por los que pasa la corriente. A esta resistividad medida se la denomina **resistividad aparente**, (Grafico 5).

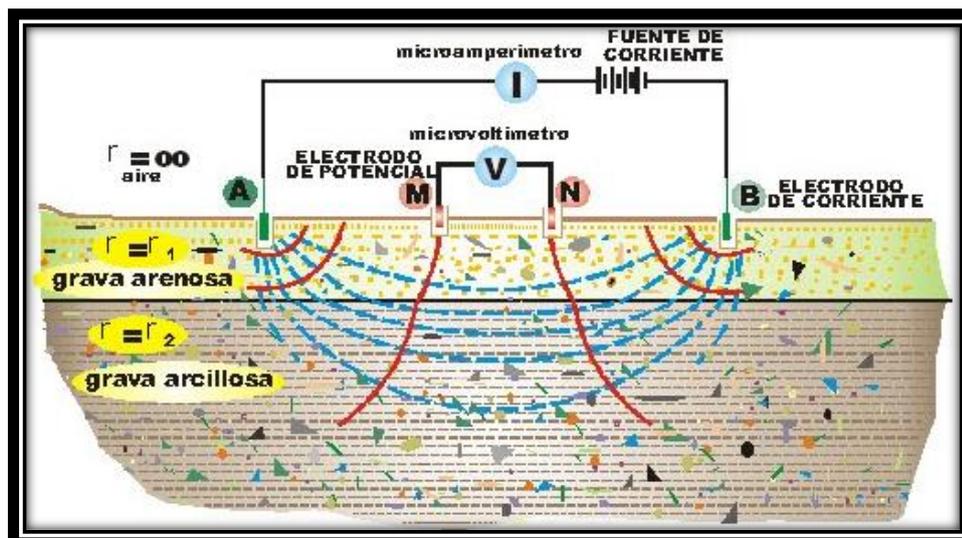


Gráfico 5: Esquema de medición de la resistividad aparente en un terreno compuesto por dos capas horizontales de resistividad diferente (García Maurizio, 2013).

La Prospección Geoeléctrica aplicada en esta investigación, se llevó a cabo por el método del SEV (Sondeo Eléctrico Vertical) que consiste en registrar, desde la superficie, la variación de la resistividad aparente en profundidad, a medida que los electrodos situados sobre una recta, se alejan del centro O del dispositivo, en forma progresiva y regular, a intervalos de escala logarítmica. Con las mediciones obtenidas, se puede establecer la curva de variaciones de resistividad aparente, en función de la distancia entre el electrodo y el centro del sistema. A medida que la separación entre los electrodos aumenta, en general también se incrementa la profundidad de investigación, las resistividades aparentes serán representativas de espesores cada vez mayores de rocas por las que circula la corriente.

Los pares de valores resistividad aparente/distancia OA se vuelcan a un gráfico bilogarítmico y dan como resultado una "curva de campo", que posteriormente se interpreta por métodos cualitativos, cuantitativos manuales y por computadora. Los resultados de esta interpretación permiten distinguir capas a partir de sus resistividades verdaderas diferentes, así como también, determinar sus espesores. Estos resultados son representativos para el punto central de medición (O) y su proyección en profundidad.

2.2.8 Dispositivos Electrónicos

Los valores de resistividad aparente obtenidos en el campo dependen de la disposición espacial de los electrodos de corriente y de potencial, a través del factor geométrico K . Según se varíen las distancias relativas entre electrodos cambia el valor de K . Los electrodos pueden adoptar cualquier disposición geométrica sobre el plano que representa la superficie del terreno, dicha disposición recibe el nombre de configuración electrónica (también llamados dispositivo electrónico o geoeléctrico). Generalmente, los dispositivos utilizados presentan cuatro electrodos, dos de ellos (A y B) por los que la corriente entra y sale, llamados "de corriente" y los otros dos (M y N) entre los cuales se mide la diferencia de potencial, denominados "de potencial". Los diferentes tipos de dispositivos empleados en el método geoeléctrico se diferencian entre sí por la distancia relativa entre electrodos, y la

posición de los electrodos de corriente respecto a los de potencial. Al momento de seleccionar dispositivos geoelectricos, son muchos los factores que hay que tener en cuenta. Se debe considerar lo siguiente (García Maurizzio, 2013), tabla 2:

Tabla 2: Factores que influyen en la elección de dispositivos. Nota: A corresponde a la opción más favorable, mientras que C corresponde a la peor. La letra B corresponde a un valor intermedio, en orden de preferencia.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS				
DISPOSITIVO	Intensidad de la Señal de Respuesta	Resolución	Sensibilidad frente Heterogeneidades del Terreno	Ruido de Acoplamiento Electromagnético
Wenner	A	A	C	C
Schlumberger	B	A	C	B
Dipolo-Dipolo	C	B	A	A

El método utilizado fue el dispositivo Schlumberger, donde el arreglo del cuadripolo es rectilíneo y simétrico, debiendo cumplir con la condición:

$$MN < o = AB/5$$

Ejemplo: MN = 2 metros, AB = 20 metros, (Grafico 6).



Gráfico 6: Esquema del dispositivo Schlumberger (visto en planta).

El dispositivo Schlumberger tiene la ventaja que para una misma posición de los electrodos M y N, los electrodos A y B pueden disponerse a cualquier distancia que respete la condición mencionada. Esto acelera el trabajo en campaña ya que ahorra gran cantidad de operaciones. Existen una serie de limitaciones, que pueden resumirse en:

Limitaciones para la ejecución

1. Las capas a investigar deben tener propiedades eléctricas homogéneas e isotrópicas.
2. La extensión lateral debe ser mucho mayor que las dimensiones del dispositivo eléctrico.
3. Los contactos entre las capas deben ser horizontales o casi horizontales.

Limitaciones en la interpretación

1. Debe existir un contraste significativo y detectable entre las capas que constituyen el suelo.
2. La correlación entre los valores de resistividad y la constitución geológica depende de gran cantidad de variables, que es necesario interpretar en cada caso en particular.

Para realizar las mediciones es necesario:

- Equipo de prospección eléctrica digital (Foto1), que realiza la lectura simultánea de los potenciales naturales e intensidad de corriente para una distancia de OA y calcula la resistividad aparente mientras realiza el gráfico, en tiempo real, en el monitor. Al mismo tiempo se registran otros parámetros como resistencia de los electrodos de corriente, contacto y flujo de los electrodos de potencial, cargabilidad en % (IP), etc.



Foto 1: Equipo de geoelectricidad digital en corriente continua.

- Electrodo de acero inoxidable de 70 cm, de longitud y de unos 14 mm de diámetro, que se clavan mediante mazas en la superficie del terreno para inducir la corriente eléctrica.
- Electrodo de cobre insertos en vasos con base porosa, inmersos en una solución saturada de sulfato de cobre, con los que se mide diferencia de potencial.
- Cables de cobre acerado, de un 1 mm de sección y 1.000 metros de longitud.
- Fuente de energía, conformada por baterías de 9 voltios que, interconectadas en serie, alcanzan un valor máximo 720 voltios.

La curva de campo se grafica en papel bilogarítmico de módulo 62,5 mm, donde la abscisa corresponde a los valores de OA (en metros) y la ordenada, a los de ρ_a (resistividad aparente en Ohm.m). La interpretación se realiza con programas de computación.

El resultado final es un gráfico donde las marcas representan a los puntos de la curva de campo empalmada y la línea continua corresponde a la curva de interpretación optimizada que responde al modelo físico u matemático más ajustado. (Gráfico 7).

La interpretación de un sondeo eléctrico vertical (SEV), consiste en que, partiendo del diagrama de variación de las resistividades aparentes, en función de la separación $AB/2$, se llega a conocer las resistividades verdaderas y espesores de las electrocapas (estratos involucrados). Existen diferentes procedimientos interpretativos que han sido desarrollados para los SEV. La mayoría de estos métodos son empíricos. Uno de los métodos más usados es el de superposición ábaco - curva de campo.

El proceso mencionado anteriormente tiene la gran dificultad de que la interpretación es lenta y cada vez que se debe efectuar un ajuste o una nueva reinterpretación de la curva, debe efectuarse todo el procedimiento nuevamente.

En el presente trabajo, la interpretación de los SEV se realizó con software específico para el procesamiento de los datos, obteniéndose resistividades verdaderas y espesores o profundidad de los distintas electrocapas.

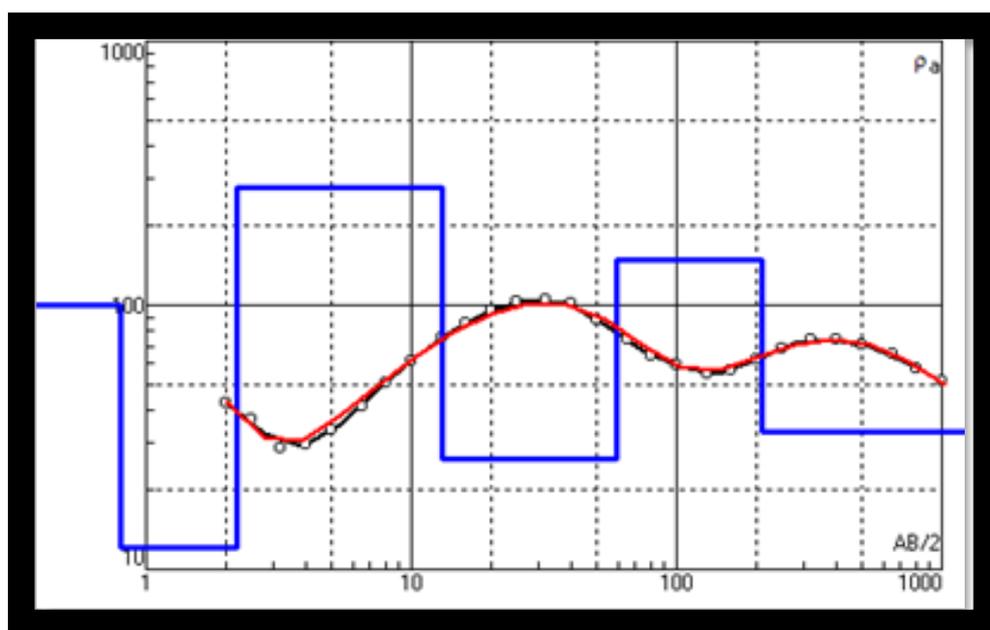


Gráfico 7: Gráfico bilogarántico representando la curva de campo empalmada (en negro) y la curva de interpretación optimizada que responde al modelo físico - matemático más ajustado (en rojo). En azul se muestran los parámetros de Dar Zarruouk, que representan las resistividades y espesores verdaderos.

La interpretación con especificaciones de resistividades y espesores de cada capa identificada en el subsuelo recibe el nombre de **Corte Geoelectrico**; con la obtención de dichos cortes se puede correlacionar SEV contiguos, que permiten efectuar **Perfiles Geoelectricos**, los cuales exponen las variaciones de las propiedades eléctricas del subsuelo en forma lateral y vertical. Con la interpretación, es posible identificar unidades de interés hidrogeológico.

2.3 CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS

2.3.1 Química del Agua

El agua es una sustancia química en la que cada molécula se compone de dos átomos de hidrógenos unidos covalentemente a una de oxígeno, su fórmula es H_2O . Su poder de disolución y su elevada reactividad hace que el agua natural contenga gran cantidad de sustancias disueltas y que entre a formar parte de la composición de otras sustancias. El agua puede disolver gases, líquidos y sólidos.

En el agua subterránea natural, las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico, algunos se encuentran presentes casi siempre, los que se conocen como iones mayores o fundamentales, como además algunos gases:

- Aniones mayoritarios: Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}), Carbonato (CO_3^{2-}), Bicarbonato (HCO_3^-), Nitrato (NO_3^-).
- Cationes mayoritarios: Sodio (Na^+), Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Potasio (K^+).
- Gases mayoritarios o fundamentales: Anhídrido carbónico (CO_2), Oxígeno disuelto (O_2).

El resto de iones o sustancias disueltas se encuentran en cantidades pequeñas (menos del 1% del contenido iónico total) y se denominan iones menores y elementos trazas a aquellos que son medibles por técnicas químicas usuales.

Entre los iones menores se analizaron: Nitrito (NO_2^-), Fluoruro (F^-), Bromuro (Br^-), Sulfuro ($S^{=}$), Ioduro (I^-), Hidróxido (HO^-), Fosfato (PO_4^{3-}), Amonio (NH_4^+), Ion férrico (Fe^{+3}), Aluminio (Al^{+3}).

Las aguas subterráneas se llaman dulce cuando contiene de 1000 a 2000 ppm de sustancias disueltas, si el contenido es mayor hasta 5000 ppm se llaman aguas salobres y hasta 40000 aguas saladas, cuando superan las 40000 ppm se les llama salmueras y pueden llegar hasta las 300000 ppm de sustancias disueltas.

Se describen las características químicas, procedencia, concentración y efectos de las principales componentes de las aguas (Custodio-Llamas 1996, pág. 200-207).

2.3.2 Aniones Mayoritarios:

Ion cloruro(Cl^-): Son sales muy solubles, muy estables en disolución y difícilmente precipitable. No se oxidan ni reducen en aguas naturales.

En general van asociados a iones Na^+ , en especial en aguas muy salina. Es el anión más abundante en el agua del mar, pero puede ser el menos importante de los fundamentos o mayoritarios en aguas continentales; no llega a saturar casi nunca y es muy difícilmente alterado por cambio iónico u otro tipo de acción.

La procedencia del Cl^- en las aguas puede ser: lavado de terreno de origen marino, aguas congénitas y fósiles pueden aportar cantidades importantes; el agua de lluvia y su concentración en el terreno, así como la mezcla con agua marina en regiones costeras; localmente y en pequeña proporción el ataque de rocas evaporitas (sal gema, etc.) y

minerales asociados a emanaciones volcánicas; y los vertidos urbanos e industriales pueden aportar cantidades importantes.

En aguas dulces la concentración varía entre los 10 y 250 ppm, aunque no es raro encontrar contenidos muchos mayores, hasta varios miles de ppm. El agua del mar posee entre 18000 y 21000 ppm, mientras que las salmueras naturales pueden llegar a tener 22000 ppm en saturación.

Este ion es esencial para la vida; más de 300 ppm proporciona sabor salado al agua de bebida. Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y comunican corrosividad al agua.

Ion Sulfato (SO_4^{2-}): Son sales moderadamente solubles a muy solubles; es difícilmente precipitable, pero puede separarse de la solución por concentración si la evaporación es importante. Tiende a formar iones complejos con sodio y calcio y a incorporarse a procesos biológicos. El sulfato está sujeto a procesos de reducción especialmente en presencia de bacterias y materia inorgánica; en ambientes reductores ácidos la sustancia estable es el ácido sulfhídrico (H_2S), mientras que en ambientes alcalinos predomina el hidrogenosulfuro HS^- .

Este ion puede proceder de: lavado de terrenos formados en condiciones de aridez o en ambientes marinos, oxidación de sulfuros de rocas, concentración en el suelo de agua de lluvia. Actividades urbanas, industriales y agrícolas, puede aportar cantidades importantes.

En el agua dulce la concentración varía entre 2 y 150 ppm, pudiendo llegar a 5000 ppm en aguas salinas si existe Ca^{++} y hasta 20000 si está asociado a Mg^{++} y Na^+ en ciertas salmueras. En el agua del mar se encuentran alrededor de 3000 ppm. Las aguas selenitosas (elevado contenido en sulfato) no quitan la sed y tienen sabor poco agradable y amargo; por sí mismo o si va asociado a Mg^{++} o Na^+ en cantidad importante puede proporcionar propiedades laxantes; en cantidades elevadas puede ser perjudicial a las plantas y más de algunos centenares de ppm perjudican a la resistencia del concreto.

Iones carbonatos y bicarbonatos CO_3^{2-} y HCO_3^- : Existe una profunda relación entre el pH, dióxido de carbono como gas y disuelto, con los iones bicarbonatos y carbonato ya que proporcionan alcalinidad al agua en el sentido que dan capacidad de consumo de ácido al crear una solución tampón (es decir el pH disminuye ligeramente). Estos iones no son oxidables ni reducibles en aguas naturales y se pueden precipitar con mucha facilidad. Estos iones pueden provenir de Disolución de CO_2 , atmosférico o del suelo, disolución de calizas y dolomías ayudada por el CO_2 , y/o ácidos naturales (húmicos, oxidación de sulfuros, etc.), hidrólisis de silicatos ayudada por el CO_2 .

El ion bicarbonato varía entre 50 y 350 ppm en aguas dulces pudiendo llegar hasta los 800 ppm en alguna ocasión y el agua del mar tiene alrededor de 100 ppm.

El ion carbonato está en concentraciones mucho menores que el bicarbonato y si el pH es menor a 8.3 se le considera cero; en algunas alcalinas con pH mayor a 8.3 puede haber cantidades importantes, hasta los 50 ppm en algunas aguas naturales; el agua del mar tiene de 1 ppm.

Las aguas con carbonatos y bicarbonatos no presentan problemas de toxicidad; las aguas bicarbonadas sódicas se consideran malas para riego, debido a que se fija el sodio en terreno y crea un medio alcalino. El equilibrio entre el dióxido de carbono, bicarbonato, carbonatos y pH es determinante de la corrosividad.

Ion Nitrato, NO_3^- : Los nitratos son sales muy solubles que son muy difícilmente precipitables. Aunque tiene tendencia a ser estable, aun en medios reductores, puede pasar a gas nitrógeno (N_2) o a amonio (NH_4^+) y excepcionalmente a dióxido de nitrógeno (NO_2). La mayoría de compuestos nitrogenados pasan a NO_3^- , en especial el suelo vegetal.

Este ion puede provenir de: procesos de nitrificación naturales (bacterias nitrificantes) por ejemplo en las raíces de las leguminosas; descomposición de materia orgánica y contaminación urbana, industrial, ganadera y abonos agrícolas; en pequeña proporción del agua de lluvia, muy raramente del lavado de ciertos minerales nitrogenados, emanaciones volcánicas o lavado de suelos antiguos; muy localmente del desarrollo de pozos con explosivos. Su origen no es siempre claro.

Las concentraciones de este ion suelen variar entre 0.1 y 10 ppm, pero en aguas polucionadas puede llegar a 200 ppm y en algún caso hasta 1000 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 1ppm o menos. Las concentraciones elevadas en agua bebida pueden producir cianosis en los niños, comunican corrosividad(oxidaciones) al agua y producen interferencias en fermentaciones.

Sílice, SiO_2 : La hidroquímica del silicio no está del todo aclarada, pero se estima que la mayoría de la sílice esta como ácido ortosilícico (SiO_4H_4) en parte disuelta y en parte coloidal y solo una pequeña parte esta ionizada (SiO_4H_3^-) a pH normales. Las aguas fuertemente básicas pueden tener cantidades importantes de sílice iónica, pero son muy raras en la naturaleza. La sílice iónica contribuye a la alcalinidad del agua. La sílice puede ser un indicador del tipo de terreno atravesado por el agua subterránea y aun mejor de la temperatura del acuífero.

La sílice proviene de: ataque de silicatos y otras rocas que contienen sílice soluble, en muy pequeñas cantidades de la disolución de cuarzo y sus formas alotrópicas; el valor de pH es muy importante en su solubilización, una parte puede estar en forma coloidal; las rocas carbonatadas tienen sílice soluble mientras que las rocas plutónicas y volcánicas pueden llegar a dar 100 ppm, frente a alrededor de 7 ppm las primeras.

La mayoría de las aguas naturales tienen entre 1 y 40 ppm en SiO_2 , pudiendo llegar hasta 100, en especial en aguas bicarbonatadas sódicas. En aguas muy básicas se puede llegar a 100 ppm. El mayor inconveniente está relacionado con su incrustabilidad en calderas y calentadores.

2.3.3 Cationes Mayoritarios:

Ion sodio, Na^+ : La solubilidad del sodio es muy elevada y es muy difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases. Suele ir asociado al ion Cl^- , aunque no siempre sucede así. Las aguas naturales con elevados contenidos en Na^+ suelen tener contenidos elevados en F^- . Es el catión más abundante en el agua del mar. El origen de este ion en las aguas se puede deber a: El ataque de feldespatos, feldespatoides y otros silicatos; lavado de sedimentos de origen marino y cambio de bases de arcillas del mismo origen; mezcla con agua de mar; localmente de la disolución de sal gema o sulfato sódico natural; en raras veces emanaciones y fenómenos relacionados con procesos magmáticos; contaminación urbana e industrial, concentración del agua lluvia.

La concentración de sodio en aguas dulces varía entre 1 y 150 ppm, no siendo raro encontrar contenidos muchos mayores, hasta varios miles de ppm. El agua del mar tiene alrededor de 10000 ppm, las salmueras naturales pueden llegar a tener 100000 ppm, siendo un límite que rara vez se sobrepasa el de 500 meq/l (aproximadamente 110000 ppm).

Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son perjudiciales a las plantas al reducir la permeabilidad del suelo; son especialmente nocivas si las concentraciones de Ca^{++} y Mg^{++} son bajas. Aguas con contenidos elevados de bicarbonato de sodio (CO_3HNa) originan problemas de espumas en calderas.

Ion potasio K^+ : La solubilidad del potasio es muy elevada y es difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases y es absorbido de muy poco reversible por las arcillas en formación (paso de montmorillonita a illita) para formar parte de su estructura, circunstancia que lo diferencia notablemente del Na^+ . Por ello las aguas naturales, a pesar de la mayor abundancia de K^+ en muchas rocas, tienen mucho menos K^+ que Na^+ excepto en las muy diluidas en las que se puede tener un contenido similar de ambos cationes.

La procedencia de este ion puede ser: Ataque de ortosa y otros silicatos (micas, arcilla, etc.) localmente la disolución de sales potásicas naturales (silvinita, carnalita, etc.), en pequeñas cantidades de aportes del agua de lluvia; en ocasiones procede de contaminación industrial, minera y agrícola (abonos).

Las concentraciones en aguas dulces varían entre 0.1 y 10 ppm; extremadamente se pueden tener algunos cientos de ppm y solo muy raramente se puede tener salmueras de hasta 100000 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 400 ppm.

No se conoce de problemas debidos a las concentraciones habituales y es un elemento vital para las plantas.

Ion Calcio, Ca^{++} : El ion calcio forma sales desde moderadamente solubles a muy solubles, muy fáciles de precipitar como carbonato de calcio (CO_3Ca). Su química va muy asociada a la de los iones CO_3H^- y $\text{CO}_3^{=}$, en muchas aguas naturales, pudiéndose precipitar y disolver con facilidad al cambiar el pH o la presión parcial de CO_2 . Puede ser afectado por cambio de bases.

El ion calcio puede provenir de: Disolución de caliza, dolomías, yeso y anhidrita; ataque de feldespatos y otros silicatos cálcicos; disolución de cemento calcáreo de muchas rocas; concentración del agua de lluvia.

Las concentraciones de este ion varían entre 10 y 250 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a 600 ppm en aguas selenitosas, el agua del mar contiene alrededor de 400 ppm y excepcionalmente se pueden tener 50000 ppm en salmueras de Cl_2Ca .

El mayor inconveniente de este ion está asociado al aporte de dureza y producción de incrustaciones; el exceso de calcio en el humano puede traer consecuencias a la salud, como el desarrollo de piedras en los riñones.

Ion magnesio Mg^{++} : Este ion posee propiedades similares a las del ion calcio, pero más soluble y más difícil de precipitar.

Este ion puede proceder de: Disolución de dolomías y calizas dolomíticas; ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicos; localmente del lavado de rocas evaporitas magnésicas (carnalita, kieserita, etc.); mezcla con agua del mar; contaminación industrial y mineral.

Las concentraciones varían entre 1 y 100 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a veces a algunos miles de ppm en aguas salinas o salmueras; el agua del mar contiene 1200 ppm. Este ion da propiedades laxantes y sabor amargo al agua de bebida si hay algunos centenares de ppm; contribuye a la dureza del agua y además a pH elevado puede generar hidróxido de magnesio $Mg(OH)_2$ incrustante.

Iones relacionados con el hierro (Fe): La química de estos iones es relativamente compleja, pueden existir en los estados de valencia +2 y +3. La estabilidad de los iones Fe^{++} , $Fe(OH)^{++}$, $Fe(OH)^{+++}$, en relación con el hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ e hidróxido ferroso $Fe(OH)_2$ precipitados o coloidales, depende del pH, Eh (procesos de oxidación-reducción) y composición de la solución. Ciertas materias orgánicas y algunas inorgánicas pueden actuar formando complejos, que aún complican más el comportamiento. En general las aguas subterráneas normalmente solo tienen disuelto Fe^{++} (a veces $FeOH^{++}$), y a pH algo elevado prácticamente no existe hierro disuelto. El Fe puede estabilizarse con compuestos orgánicos tales como los ácidos oxálicos, tartárico, cítrico y también con polifosfatos.

El hierro puede proceder de: Ataque de silicatos ferríferos; ataque de sulfuros y óxidos de hierro; ataque de la mayoría de las rocas sedimentarias; muy lentamente y con carácter local procede del entubado de los pozos. Ciertos microorganismos promueven medios reductores que favorecen la formación de Fe^{++} , mientras otros utilizan las energías del paso de Fe^{++} a Fe^{+++} en sus procesos vitales y dan lugar a precipitaciones gelatinosas, estos crecimientos bacterianos se favorecen en la oscuridad y en aguas con exceso de O_2 y abundante CO_2 .

Las concentraciones de Fe^{++} varían entre 0 y 10 ppm, siendo de menos de 0.5 ppm en aguas aireadas; con pH entre 5 y 8 rara vez se llega a 50 ppm; en aguas muy ácidas se puede llegar a 100 ppm en Fe^{++} y Fe^{+++} ; las aguas alcalinas solo tienen muy pequeñas cantidades de Fe^{++} o $Fe(OH)^{++}$.

En altas concentraciones estos iones producen manchas de herrumbre y depósitos orgánicos fangosos con $Fe(OH)^{+++}$ y es en general molesto en aguas industriales; puede originar incrustaciones duras; más de 5 ppm pueden ser tóxicas para las plantas y más de 0.5 ppm son nocivas o molestas en general.

2.3.4 Principales gases disueltos:

Anhídrido carbónico o Dióxido de carbono CO_2 : Este es un gas relativamente soluble y que al hidrolizarse produce ácido carbónico parcialmente dissociado. Su papel es muy importante ya que determina en gran manera el comportamiento químico de un agua frente a muchos minerales, tales como la calcita, dolomita, feldespatos, etc.

Este gas puede proceder de: Disolución de gases del terreno no saturado; descomposición y oxidación de materia orgánica en varios procesos tales como reducción de sulfatos, reducción de hierro, etc. disolución de gases del aire por lluvia y el agua superficial. a veces procede de emanaciones magmáticas y juega un papel importante en el comportamiento hidrogeoquímico de las aguas subterráneas.

Su concentración frecuentemente se sitúa entre 1 y 30 ppm, correspondiendo los valores más bajos a aguas en contacto con la atmósfera. En acuíferos profundos en los que existe generación de CO_2 (oxidación de materia orgánica, aportes volcánicos, etc.) y elevadas

presiones, pueden existir aguas con contenidos de hasta 1500 ppm (aguas carbónicas naturales) que se mantiene si esa agua aflora rápidamente.

Las aguas con exceso de CO₂ son agresivas y las que pierden CO₂ pueden convertirse en incrustaciones; con más de 20 ppm de CO₂ libre, las aguas pueden ser agresivas para el concreto.

Oxígeno disuelto, O₂: Este gas produce un medio oxidante y juega un papel de gran importancia en la solubilización o insolubilización de iones que cambian con facilidad de valencia, así como en la actividad de los microorganismos. Su ausencia produce un medio llamado anaerobio. Se consume con facilidad si existen sustancias oxidables, tales como materia orgánica, Fe⁺⁺, NH₄⁺, NO₂⁻, etc., en especial por acción biológica.

El oxígeno disuelto procede de: Disolución de aire por el agua de lluvia y las aguas superficiales; disolución de gases del terreno no saturado; procesos de fotosíntesis en el seno de aguas superficiales y juega un papel muy importante en los procesos redox; el contenido en oxígeno disuelto en las aguas subterráneas profundas, es pequeño o nulo debido a que se consume sin posibilidad de renovación.

La concentración a saturación del oxígeno en el agua en contacto con el aire es del sobresaturada en oxígeno, pero en el terreno el oxígeno se consume y su renovación es difícil o imposible; la mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 ppm, frecuentemente por debajo de 2 ppm. El mayor problema que presenta el oxígeno disuelto en el empleo del agua es que produce corrosividad. Su ausencia puede ser origen de malos gustos (fermentaciones anaerobias).

2.3.5 Aniones Minoritarios:

Fluoruro, F⁻: La solubilidad del fluoruro es limitada y contribuye ligeramente a la alcalinidad del agua pues se hidroliza ligeramente.

El fluoruro lo adquieren las aguas subterráneas al transitar por rocas que contienen minerales como la fluorita.

Las concentraciones frecuentemente varían entre 0.1 y 1 ppm, pudiendo llegar a veces hasta 10 y muy raramente a 50 en aguas muy sódicas con muy poco Ca⁺⁺; el agua del mar tiene entre 0.6 y 0.7 ppm; las aguas de zonas áridas pueden tener cantidades elevadas; el Ca⁺⁺ limita la concentración de F⁻.

El fluoruro parece jugar un papel importante en la conservación de la dentadura, creando problemas cuando esta tanto por exceso como por defecto; por exceso puede provocar la precipitación del calcio, por lo que puede dañar la estructura ósea de los dientes y también puede provocar osteoporosis. Algunos autores proponen como concentración óptima 1 ppm.

Bromuros, Br⁻: Su comportamiento es similar al del ion Cl⁻. Tiene interés en el estudio del origen de aguas saladas.

Principalmente se encuentra en el agua del mar, pero las aguas superficiales pueden adquirirlo por contaminación con sustancias industriales.

En general menos de 0.01 ppm en aguas dulces. El agua del mar tiene 65 ppm. en las concentraciones usuales no ocasiona ningún problema, al consumirlo, en grandes cantidades puede causar problemas en el sistema nervioso.

Iones derivados del boro: Se encuentra disuelto como ácido ortobórico BO_3H_3 parcialmente disociado a ion BO_3H_2 , contribuye a la alcalinidad de las aguas.

El boro puede ser adquirido por el agua a través de erosión de rocas con minerales como la bakerita, datolita, etc.

En general las concentraciones son menores de 0.1 ppm, pero a veces puede llegar a 10 y excepcionalmente a 30; el agua del mar contiene 4.6 ppm en B. Puede ser elevado en aguas antiguas y termales.

En pequeñas cantidades ya es nocivo para las plantas, pero no en el agua de bebida. Ingerir grandes cantidades de boro durante un periodo breve puede dañar el estómago, los intestinos, el hígado, los riñones y el cerebro.

Sulfuro y gas Sulfhídrico, $\text{S}^=$, H_2S : Son fácilmente oxidables a azufre (S), anión sulfito (SO_3^-) o anión sulfato (SO_4^-) y pueden ser depositados en el terreno ya que forman muchas sales pocos solubles. Son características de medios reductores, pero no siempre están presentes en los mismos. El $\text{S}^=$ se hidroliza con facilidad a bisulfuro (SH^-) y SH_2 , estando en equilibrio con fase gas y el SH_2 se hidroliza a SH^- y $\text{S}^=$.

En la naturaleza, se forma en las zonas pantanosas y en el tratamiento de lodos de aguas residuales, mediante transformaciones anaeróbicas del azufre contenido en las proteínas o bien por reducción bacteriana de sulfatos. Se desprende también en las emisiones gaseosas de algunos volcanes y es asimismo un subproducto de algunos procesos industriales.

Las concentraciones son generalmente muy por debajo de 1 ppm, aunque en aguas de medios muy reductores con reducción de sulfato, se pueden llegar hasta 100 ppm.

Comunican muy mal olor fácilmente detectable incluso a 1 ppm o menos, la exposición a niveles bajos de gas sulfhídrico puede producir irritación de ojos, nariz o garganta y es factible que provoque dificultades respiratorias a personas asmáticas; exposiciones breves a contenidos altos (mayores de 500 ppm) de ácido sulfhídrico pueden causar pérdida del conocimiento y posiblemente la muerte. Es corrosivo en especial para aleaciones de cobre (Cu).

Fosfato PO_4^{3-} : Aunque presente sales solubles, la mayoría lo son muy poco y en general se precipita como fosfato de calcio $(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$. Se hidroliza con facilidad y contribuye a la alcalinidad del agua. La presencia de Ca limita su contenido y el CO_2 disuelto lo favorece.

El agua puede adquirir el fosfato de forma natural por el contacto con rocas que posean minerales fosfáticos como la apatita, fosfolita, etc. Los fertilizantes y abonos orgánicos aportan cantidades significativas, que pueden afectar aguas superficiales y acuíferos.

Las concentraciones generalmente varían entre 0.1 y 1 ppm pudiendo llegar a 10 ppm y excepcionalmente a 50 ppm.

El fosfato es esencial en el ciclo de la vida de los seres vivos, pero generalmente no se adquiere por medio del agua. En las concentraciones usuales, no origina problema; al consumir demasiado fosfato puede ocasionar daños a los riñones y osteoporosis.

2.3.6 Cationes Minoritarios:

Ion Manganeso, Mn^{++} : El manganeso tiene un comportamiento similar al Fe, presentando como este los estados de valencia +2 y +3, además de la +4, que solo existe como dióxido

de manganeso (MnO_2). Puede formar complejos orgánicos estables tal como sucede con el hierro.

El manganeso puede adquirir de forma natural por el agua a través de rocas; los abonos pueden aportar manganeso a las aguas.

Las concentraciones en general están por debajo de 0.2 ppm, rara vez por encima de 1 ppm. Es más abundante en aguas acidas.

Al oxidarse forma manchas negruzcas y favorece el crecimiento de ciertas bacterias.

Las concentraciones usuales de manganeso no causan daños para la salud, exposiciones extremadamente altas de manganeso en los niños pueden producir alteraciones en el desarrollo del cerebro.

Ion amonio y amoniaco disuelto, NH_4^+ y NH_3 : Son oxidados con gran facilidad a gas nitrógeno (N_2), ion dióxido de nitrógeno (NO_2^-) o nitrito (NO_2^-) y son fácilmente retenidos por el terreno por cambio de bases. Se hidrolizan, existiendo un equilibrio entre ambos. Si existe gran cantidad pueden actuar como tampón. Pueden coexistir con Fe^{++} pero no con NO_3^- en cantidades importantes.

El amoniaco se encuentra naturalmente en el ambiente, es producido y usado en el metabolismo de los mamíferos. Por su existencia natural el amonio se encuentra en el aire y en el suelo del cual puede ser adquirido por el agua; abonos y desechos químicos pueden contribuir a la presencia del amonio en las aguas.

En general las concentraciones son menores de 0.1 ppm, pero en casos muy excepcionales puede llegar a 400 ppm. El agua del mar tiene entre 0.005 y 0.05 ppm a veces hasta 0.35.

En las concentraciones usuales no es origen de problemas, pero a concentraciones mayores puede llegar a dar olor amoniacal lo que suele ser un índice de contaminación. En concentraciones extremadamente altas es una sustancia corrosiva para la piel, ojos, boca, sistema respiratorio y digestivo.

2.4 Análisis químicos

2.4.1 Características Físicas- Químicas de las Aguas:

Temperatura: La temperatura afecta a la viscosidad del agua, capacidad de absorción de gases, etc. Su determinación exacta es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura. Es habitual expresar la temperatura en la escala de grados Celsius ($^{\circ}C$).

Las aguas subterráneas tienen una temperatura muy poco variable, y responde a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar, incrementando en el producto de la profundidad por el gradiente geotérmico de $1^{\circ}C$ cada 33 metros, como media, algo mayor en zonas tectónicas y volcánicas y menor en grandes cuencas sedimentarias.

Esta propiedad debe medirse en el campo lo antes posible para evitar calentamientos o enfriamientos. Es preciso asegurarse de que la muestra representa la temperatura del agua del lugar, y no la interior de una captación tubería o depósito.

Conductividad Eléctrica, CE: La conductividad eléctrica es la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica; se mide como la conductividad que existe entre dos

electrodos paralelos de 1 cm² de superficie cada uno y separados 1 cm situados en el seno del agua a medir de forma que el medio se pueda considerar infinito. Análogamente se define como el inverso de la Resistividad Eléctrica. Es más recomendable el uso de la conductividad ya que crece paralelamente a la salinidad.

La conductividad crece con la temperatura y es preciso tomar una temperatura de referencia, que suele ser 18 °C o 25 °C. Se estima que aumente 2% por cada °C que se incrementa. También la conductividad crece con el contenido de iones disueltos. a una misma temperatura, en la conductividad de un agua influye no solo la concentración iónica, sino el tipo de iones (carga eléctrica, estado de disolución, movilidad, etc). Por lo que aguas con alta conductividad pueden causar corrosión en el hierro y el acero de la tubería de los pozos.

La conductividad suele expresarse en microsiemens por cm(uS/cm) que es igual a un micromho por cm (umh/cm o $\mu\Omega^{-1}/cm$). Los valores de conductividad varían entre 100 y 2000 uS/cm a 18°C para aguas dulces pudiendo llegar a más de 100000 con salmueras. El agua del mar tiene alrededor de 45000 uS/cm a 18° C.

En la toma de muestras es conveniente evitar el escape de gases y formación de precipitados, ya que disminuyen la conductividad.

Color: El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Sus causas, más comunes en el agua son la presencia de hierro (color rojizo) y manganeso (color negro) coloidal en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, raíces y otros, en diferentes estados de descomposición; y la presencia de taninos, ácido húmico (color amarillo) y algunos residuos industriales.

En el agua se reconocen dos tipos de color. El color verdadero (color de la muestra una vez que su turbidez ha sido removida) y el color aparente (este incluye el color de las sustancias en solución coloidales y el color debido al material suspendido); en general, el termino color se refiere al color verdadero del agua. Este se determina normalmente en laboratorio utilizando como estándar una solución que contiene 1 g de tricloruro de cobalto (Cl₃Co), 1.45 g de cloroplatinato de potasio (Cl₆PtK₂), y 100 cc de cloruro de hidrogeno (Cl H) diluyendo el conjunto a 1 litro. Se mide en ppm de Pt-Co (escala de Platino-Cobalto) o simplemente ppm de Pt y los valores menores de 5 ppm Pt para aguas subterráneas anormalmente puede llegar hasta 100. El análisis debe realizarse pronto, pues el color puede variar con el tiempo. Normalmente el color aumenta con el incremento del pH.

El color es desagradable en agua de bebida e indica a veces contaminación, por lo que la determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción.

Turbidez: La turbidez o turbiedad es una expresión del efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; es decir, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez en agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y otros microorganismos.

Actualmente el método más usado para la determinar la turbidez es el método nefelométrico en el cual se mide la turbidez mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica (UTN). Con este método se compara la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones de medida. Entre mayor sea la intensidad de la luz dispersada mayor será la turbidez.

La determinación de la turbidez es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias. Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

Sabor y Olor: Los olores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de los olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran la materia orgánica en solución, ácido sulfhídrico, cloruro de sodio, sulfatos de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, producto de cloro, diferentes especies de algas, hongos y otros.

El sabor del agua es una determinación organoléptica subjetiva, de interés en agua potable. Las aguas con más de 300 ppm de cloruros tienen gusto salado, las que tienen más de 400 o 450 ppm de sulfatos tienen gusto salado y amargo, las que tienen mucho dióxido de carbono libre tienen gusto picante, etc.

La determinación del olor y el sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de posible contaminación.

El ensayo para determinarlos se hace cualitativamente, en muestras seguras para el consumo humano. El método más usado consiste en determinar la relación de dilución a la cual el olor o el sabor son apenas detectables. El valor de dicha relación se expresa como número detectable de olor o sabor.

Sólidos totales disueltos, TDS: Es un indicador de la salinidad del agua, midiendo las sales inorgánicas. En el sistema Internacional se acostumbra dar el resultado en miligramos por cada litro (mg/l). Los sólidos totales disueltos son más o menos equivalentes a los minerales disueltos en aguas de alta calidad.

Con las concentraciones de aniones y cationes se validan los análisis químicos de muestras; para tal fin deben verificarse el equilibrio, por lo que la suma de miliequivalentes por litro de aniones debe ser igual a la de cationes.

Salinidad: Cuando el constituyente principal del agua es el cloruro de sodio y la concentración es alta, se dice que el agua es salina. La salinidad es el número de gramos de sal por cada litro de muestra; por ello se expresa en mg/l. Formalmente la salinidad se define como los sólidos totales en el agua cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos, todos los bromuros y yoduros han sido reemplazados por una cantidad equivalente de cloruros y toda la materia orgánica ha sido oxidada. Numéricamente es menor que los sólidos disueltos o residuo filtrable, y es un valor importante en aguas de mar, subterráneas y ciertos residuos industriales.

Dureza: La dureza o título hidrotimétrico (TH) es la capacidad del agua para producir espuma; es decir, es la medida del consumo de jabón (detergente) del agua. Los minerales

removidos por el jabón se vuelven espuma. Esta propiedad es causada por los iones metálicos divalentes, es decir los cationes de Calcio y Magnesio. Esta propiedad es muy importante en acuíferos kársticos que tienen la característica de formarse en rocas carbonáticas como la dolomita y la caliza, lo cual, hace que se diluyan rocas formando carbonatos y bicarbonatos.

La dureza se puede clasificar en dos grandes grupos: La carbonatada y la no carbonatada. La dureza carbonatada es también llamada temporal, porque se remueve con evaporación y precipitando el calcio y magnesio; esta se mide en términos de carbonato de calcio (mg/l). La dureza no carbonatada es igual a la diferencia entre la dureza total y la carbonatada; esta indica la cantidad de calcio y magnesio combinados con sulfatos, cloruros, nitratos y algunas veces hierro; esta clase de dureza no se puede remover por evaporación.

Un agua se puede clasificar como dura o blanda según las normativas. Para efectos prácticos aguas con dureza menor de 50 mg/l son consideradas blandas, con dureza entre los 50 y 150 mg/l, son de uso no objetable y para durezas mayores de 150 mg/l se consideran duras. La concentración de carbonato de calcio es cinco veces mayor que la de carbonato de magnesio.

Las aguas duras pueden causar incrustaciones de partículas en las paredes de pozos, poniéndolos fuera de funcionamiento. Existen problemas con los pozos perforados en rocas carbónicas porque la reducción de presiones causa la liberación de gas CO₂ que, al reaccionar con el magnesio y el calcio, forman capas de carbonatos; esto hace que se produzcan pérdidas en la eficiencia, o el abandono del pozo en periodos inferiores a 3 años.

Alcalinidad: La alcalinidad del agua puede definirse como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, para reaccionar con iones hidrogeno, para aceptar protones, o como la medida del contenido total de sustancias alcalinas (OH⁻). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampona de un agua. En el ablandamiento de un agua por métodos de precipitación, la alcalinidad es un dato necesario para el cálculo de la cantidad de cal y carbonato de sodio preciso para el proceso. En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: Bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (boratos, silicatos y fosfatos) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la construcción de estos es insignificante y puede ignorarse. La alcalinidad del agua puede determinarse por titulación con ácido sulfúrico 0.02 N y se expresa como mg/l de carbonato de calcio equivalente a la alcalinidad determinada.

Acidez: La acidez de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, para reaccionar con iones hidroxilos, para ceder protones, o como la medida de su contenido total de sustancias acidas. Si el agua subterránea es acida tendría que corroer las partes metálicas del pozo y del sistema de bombeo.

La determinación de la acidez es de importancia en ingeniería sanitaria debido a las características corrosivas de las aguas acidas y al costo que supone la remoción y el control de sustancias que producen corrosión. El factor de corrosión en la mayoría de las aguas es el dióxido de carbono, especialmente cuando está acompañado de oxígeno, pero en residuos industriales es la acidez mineral. El contenido de dióxido de carbono es también un

factor importante, por la presencia de iones H^+ libres, por la presencia de acidez mineral proveniente, de los ácidos fuertes como el sulfhídrico, nítrico, clorhídrico, etc., y por las hidrolización de sales de ácido fuerte y base débil.

La causa más común de acidez en aguas es el CO_2 , el cual puede estar disuelto en el agua como resultado de las reacciones de los coagulantes químicos usados en el tratamiento o de la oxidación de la materia orgánica, o por disolución del dióxido de carbono atmosférico. El dióxido de carbono es un gas incoloro, no combustible, 1.53 veces más pesado que el aire, ligeramente soluble en agua.

Potencial de Hidrogeno, pH: Este término es usado universalmente para referirse a la intensidad de la condición de acidez o alcalinidad de una solución; y se calcula con una expresión logarítmica. En el agua subterránea tiende a ser balanceado, pues en ella es difícil encontrar minerales libres. Se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es el límite de neutralidad. Valores de pH se mide a través de sustancias, con aditamentos como el papel universal o el papel tornasol y con aparatos llamados pH-metros.

Cuando varía el pH del agua ya sea por bombeo para una extensión inferior, por cambios de temperatura o gases que se puedan escapar, al ser las propiedades químicas del agua subterránea muy sensibles con el ambiente, estas pueden afectar las rejillas de los pozos.

2.5 Interpretación geoquímica del agua

Para simplificar el manejo y estudio de datos geoquímicos se han desarrollado tecnológicas, que emplean gráficos y diagramas que permiten comparar análisis de aguas de un mismo lugar en épocas diferentes, de diferentes lugares o bien resaltar relaciones entre mismo lugar en épocas diferentes, de diferentes lugares o bien resaltar de relaciones entre los iones de una misma muestra. Entre los diagramas más utilizados se encuentran los diagramas de Collins, diagramas circulares, diagrama de Piper y diagrama de Stiff modificado; diagrama de columnas verticales logarítmicas de Schoeller-Berkaloff, a continuación, se describen los diagramas utilizados en este trabajo.

2.5.1 Diagrama de Piper

Este diagrama es de tipo triangular los cuales son ideales en la representación de tres componentes; en los que cada día cada vértice del triángulo representa el 100% de cada componente. El diagrama de Piper tiene la particularidad de en qué combina dos triángulos inferiores, en los cuales se colocan en un izquierdo los cationes (usualmente $Na^+ + K^+$, Ca^{++} , y Mg^{++}) y en el derecho los aniones (usualmente Cl^- , HCO_3^- y SO_4^{--}), y un tercer campo romboidal en el cual se deduce a partir de la representación de los aniones y cationes la composición química del agua. A continuación, en el (Grafico 8), se muestra la representación de la composición química de un agua en el diagrama de Piper.

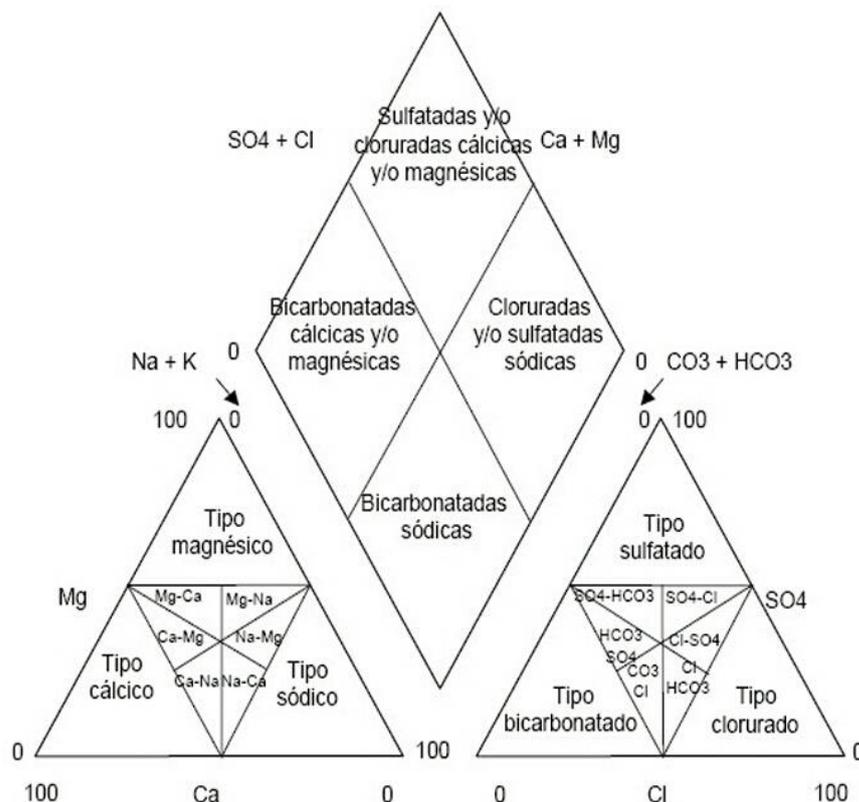


Gráfico 8: Ejemplo de clasificación química de un agua en el diagrama de Piper.

En este tipo de diagramas se pueden representar muchos análisis en un mismo grafico sin dar origen a confusiones, siendo esta una de sus mayores ventajas: además las mezclas de aguas, precipitaciones, disoluciones modificaciones, etc., quedan fácilmente reflejadas. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas. En estos diagramas no se tiene una representación de las concentraciones absolutas dado que se utilizan valores reducidos a %. Si conviene tener en cuenta alguna otra propiedad como conductividad, residuo seco, etc., pueden asociarse a cada punto representativo de cada agua.

2.5.2 Diagrama de Stiff modificado

Este diagrama es de tipo poligonal (Gráfico 9), el cual está compuesto por cuatro rectas paralelas igualmente espaciadas cortadas por una norma dando así cuatro semirrectas izquierdas (campo cationes) y cuatro semirrectas derechas (campo de acciones). Sobre cada recta se toma un segmento proporcional a las meq/l del ion correspondiente y se unen los dos extremos y dando un polígono representativo. De arriba hacia abajo se disponen en el campo de los cationes K^+ , Na^+ , Mg^{++} y Ca^{++} ; mientras que los campos de los aniones se disponen de arriba hacia abajo NO_3Cl , SO_4 y $CO_3H + CO_3$ (según Custodio-Llamas este arreglo representa mejor las aguas subterráneas normales, que el propuesto por Stiff originalmente).

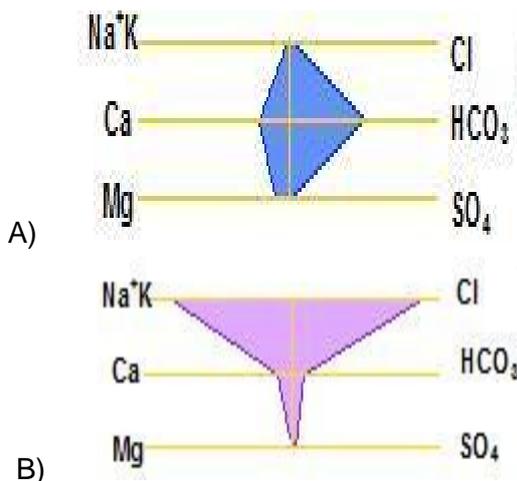


Grafico 9: Ejemplos de diagramas de Stiff modificado. Se muestra en: a) Composición química de agua subterránea natural y b) composición química de mar. En ambos diagramas se ha utilizado una disposición alternativa de componentes químicos.

Para aguas muy concentradas o muy diluidas el diagrama es muy alargado y entonces conviene reducir o ampliar la escala, indicándolo con un rayado especial. El empleo de valores en % de meq/l evita diferencias de tamaño entre figuras, pero no permite apreciar concentraciones absolutas.

Estos tipos de diagramas son muy útiles para comparar entre sí, comparando los polígonos que han formado; son muy útiles en representación de la composición de aguas en mapas hidrogeoquímicos.

2.5.3 Diagrama Columnares de Schoeller-Berkaloff

En este grafico se disponer varias semirrectas verticales paralelas igualmente espaciadas. A cada semirrecta se le asocia un anión o un catión y se representa a partir de un origen, en general a la misma altura para todas las semirrectas. Las columnas son escalas logarítmicas todas del mismo modulo. Se emplean concentraciones absolutas en meq/l, la ordenación normal de las columnas de iones es de izquierda a derecha: Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ +K⁺, Cl⁻, SO₄⁻, HCO₃⁻, dejando una o dos columnas al final por si conviene representar alguna característica más como dureza, conductividad, etc. Los diferentes puntos obtenidos se unen dando una línea quebrada. Se pueden representar tanto aguas diluidas como concentradas en un mismo diagrama. (Gráfico 10).

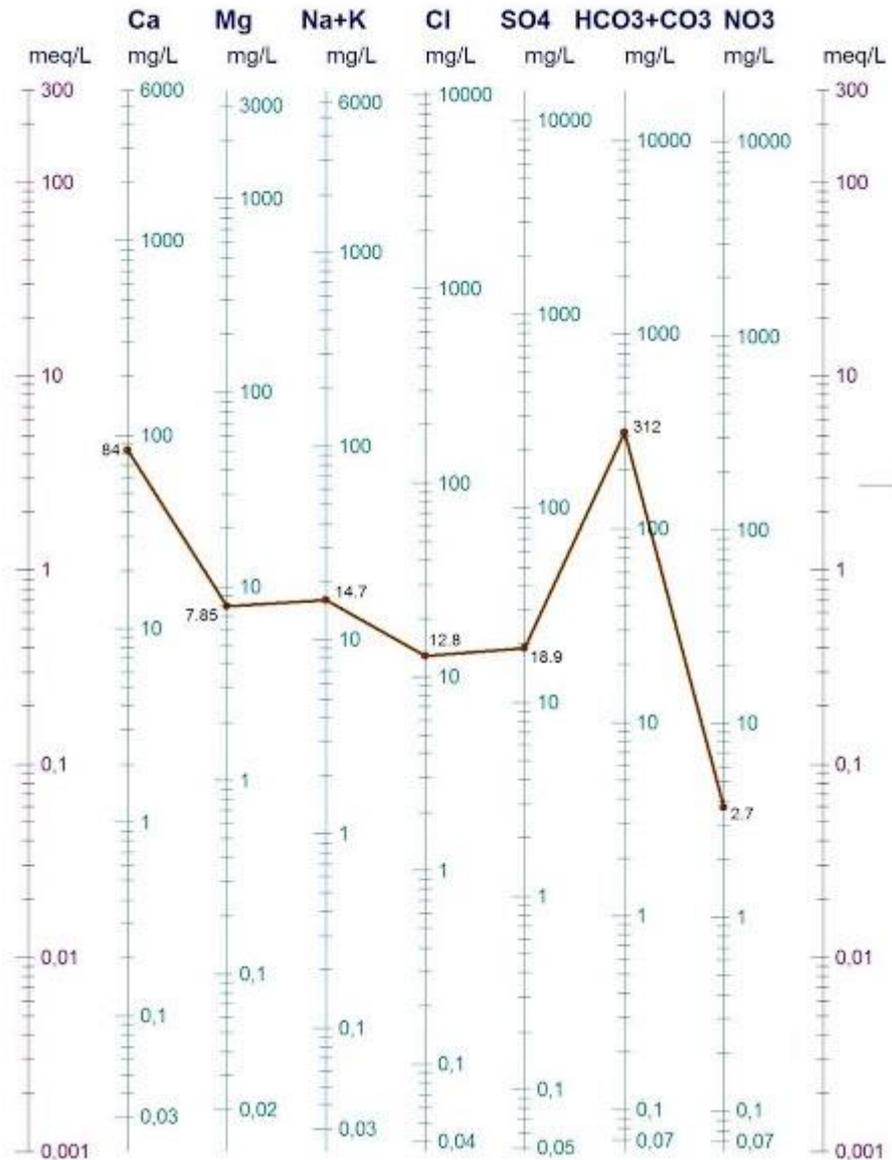


Grafico 10: Diagrama de escalas logarítmicas verticales (De Scholler y Berkloff).

2.5.4 Agua de Riego

El agua subterránea utilizada para fines de irrigación debe ser compatible con los cultivos y no debe perjudicar el suelo ni el agua subterránea debajo de la zona de riego. La calificación como agua de riego depende en primer lugar de su mineralización total, las concentraciones de sodio, bicarbonato y cloruro y de la presencia de concentraciones tóxicas para las plantas de ciertos componentes naturales o antropógenos del agua (por ejemplo, boro, pesticidas, herbicidas, fungicidas, etc.) o combinaciones de las mismas.

Los parámetros de análisis más importantes a tener en cuenta son: Temperatura, pH, conductividad eléctrica, residuo seco, sodio, calcio, cloruros, ácido bórico, potasio, magnesio, bicarbonatos, arsénico, amonio, hierro.

Rigen valores límites específicos individuales para cada cultivo que además dependen del tipo de suelo y de factores climáticos.

La concentración total de sales en solución (sales totales o conductividad)

La proporción de sodio en relación con calcio + magnesio (RAS)

La concentración de bicarbonatos (CSR)

La presencia de elementos o sales que en ciertas cantidades son tóxicas (sales de boro, de litio, etc.)

Metodo del U.S Salinity Laboratory

Además del peligro potencial que supone para los cultivos la presencia del boro y los altos índices de salinidad de las aguas de riego, a veces existe, además, el peligro del sodio. Los dos efectos nocivos más importantes producidos por el sodio son la reducción de la permeabilidad del suelo y el aumento de su dureza.

Estos dos efectos son causados por el intercambio iónico del calcio y magnesio con el sodio, que tiene lugar en los coloides y suelos arcillosos. La intensidad de este intercambio puede ser estimada por el índice de adsorción del sodio (RAS) que se expresa mediante la fórmula:

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

En donde el Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} , están expresados en concentraciones de miliequivalentes por litro de ion respectivo. En el ejemplo del (Grafico 11) se indica los peligros relativos de los distintos valores del RAS. Se diferencian cuatro zonas de riego Na: bajo ($RAS < 10$), mediano $10 < RAS < 18$, alto ($18 < RAS < 26$) y muy alto ($RAS > 26$). En el diagrama modificado de Wilcox para la clasificación de las aguas de riego, la letra W representa una muestra de agua de mar diluida con agua destilada a 1/10 de su concentración original. La letra S, una muestra de agua de mar diluida a 1/50 de su concentración original.

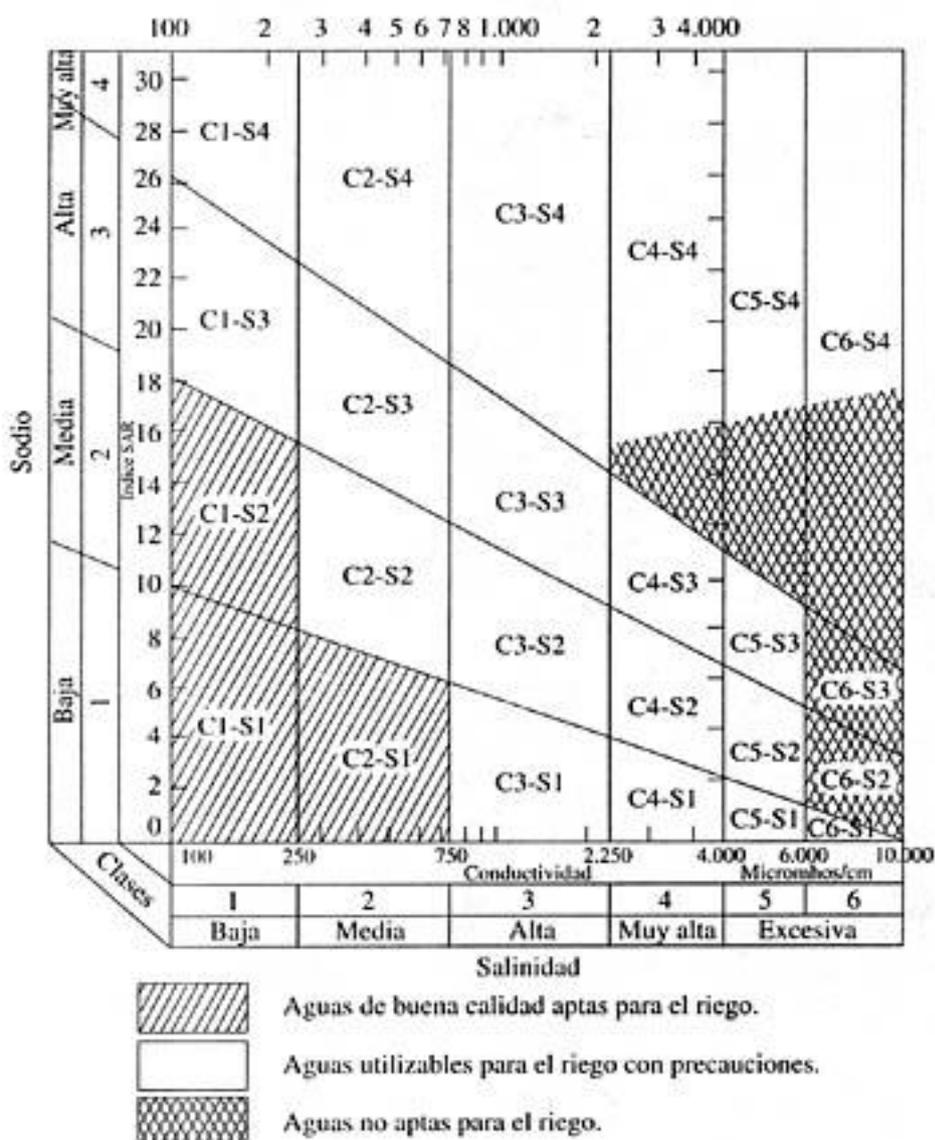


Grafico 11. Diagrama modificado de Wilcox para la clasificación de las aguas de riego. USSLS.

Clases de Conductividad:

Agua de baja salinidad (C1): Puede usarse en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesitan algún lavado, pero estos se logran en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

Agua de salinidad media (C2): Puede usarse siempre cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Agua altamente salina (C3): No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar practicas especiales de control de la salinidad,

debiendo, por lo tanto, seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

Agua muy altamente salina (C4): No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero pueden usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables. El drenaje acuerdo, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr lavado: en este caso, se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a las sales.

Clases de contenido de sodio:

Agua baja en sodio (S1): Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos se sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Agua media en sodio (S2): En suelos de textura fina, el sodio representa un peligro considerable, más aún si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contengan yeso. Estas aguas solo pueden usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

Agua alta en sodio (S3): Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos, por lo que estos requerirán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos ricos en yeso pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiables cuando se riegan con este tipo de aguas. Puede requerirse el uso de mejoradores químicos para sustituir el sodio intercambiable; sin embargo, tales mejoradores no serán punto económico si se usan en aguas de muy alta calidad.

Agua muy alta en sodio (S4): Es inadecuada para riego. Excepto cuando su alcalinidad es bajo o media y cuando la disolución del calcio del suelo y /o la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómicos el empleo de esta clase de aguas.

Limitaciones en el uso del agua en clases integrando C y S:

Clase I (Excelente): agua sin limitaciones de uso para todos los cultivos prácticamente, en la mayoría de los suelos.

Poco probable el desarrollo de pequeñas cubiertas de sales tóxicas, álcalis o niveles de boro. Pueden darse niveles perjudiciales de álcalis en suelos de permeabilidad lenta, a menos que haya fuentes de calcio disponibles en los perfiles.

Clase II Buena): Agua con limitaciones mejores de uso. Pueden desarrollarse cultivos con tolerancia moderada a la sal y al boro. Pueden darse niveles perjudiciales de los álcalis en suelos de permeabilidad lenta, a menos que haya fuentes de calcio disponibles en los perfiles.

Clase III (Regular): Agua con mayores limitaciones de uso. Solamente crecerán los cultivos con fuerte tolerancia a la sal y al boro. Pueden ser necesarias con frecuencia, practicas especiales de control de la sal y álcalis, tales como fuerte lavado, adiciones de enmiendas y materia orgánica. Un drenaje adecuado es el primer requerimiento en todas las áreas donde se usa esta clase de agua.

Clase IV (Mala): agua con muy severas limitaciones. Puede tener un uso ocasional, y en tal caso, solo bajo circunstancias muy especiales, tales como cultivos muy tolerantes a la sal y al boro, que crezcan en suelos altamente permeables, con drenaje adecuado y aplicando cantidades en exceso de esta agua, excepto en el caso de una condición de salinidad baja o media (C1 y C2) donde la adición de correctivos o enmiendas puede ser efectiva en la prevención de estos efectos dañinos.

Clase V (Inapta): agua no utilizable para los fines de irrigación bajo ninguna circunstancia o condición.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En líneas generales, la metodología de estudio utilizada es la que se aplica clásicamente en todo tipo de investigaciones hidrogeológicas. Luego del análisis de los antecedentes existentes en las disciplinas relacionadas con el agua subterránea y de estudios específicos, el presente trabajo pudo delimitarse en las siguientes etapas de elaboración.

3.1 RECOPIACIÓN, INVENTARIO Y VALORACIÓN DE ANTECEDENTES

El trabajo de gabinete comienza con la evaluación y valoración de antecedentes que consiste en la recopilación de la bibliografía asociada a la zona de estudio, en la cual se consultaran trabajos geológicos específicos desde el punto de vista estructural, estratigráfico, geomorfológico, geofísico, e hidrogeológico, que sirvieron como apoyo para cumplir con los objetivos. Además, se realizó la recopilación e inventario de todas las obras de captación que se realizaron en la zona de estudio y en su entorno cercano, prestando especial atención a los legajos técnicos de cada obra. Los antecedentes más sobresalientes son los siguientes:

- ❖ Estudio de Prefactibilidad Para la Ubicación de un Pozo. Valle Escondido. Ruta Nacional N°9 – Acceso Norte. Conhidro, 2014). Los autores, basados en información antecedente, realizan la ubicación de una obra de captación (pozo), destinado al abastecimiento de agua potable para un barrio privado que se asienta en el lugar.
- ❖ Tomografía Eléctrica Aplicada. Burgos (2011.). La autora realiza una evaluación de los alcances de la tomografía Eléctrica en distintos ambientes geológicos – hidrogeológicos usando diferentes arreglos o configuraciones electrónicas. Entre los diferentes ambientes donde se efectuaron secciones eléctricas 2D, existe un registro en la zona de estudio.
- ❖ Estratigrafía del Cuaternario del Valle de Lerma, Provincia de Salta, Argentina. Gallardo et al., (1996). Se presenta un análisis estratigráfico del Cuaternario en el ámbito de la Cordillera Oriental, donde se emplaza el Valle de Lerma (Provincia de Salta). Basados en las características litológicas, estratigráficas y estructurales (principalmente discordancias erosivas), los autores dividen litoestratigráficamente los depósitos cuaternarios en tres unidades formacionales, que son de base a techo: Formación Calvimonte, Tajamar y La Viña. La cual son acumulaciones esencialmente clásticas de origen fluvial y lacustre.
- ❖ Base de Datos Mensuales de Precipitaciones del Noroeste Argentino. Bianchi, et al., (2005). Los autores realizan una exhaustiva recopilación de la información mensual de las lluvias y una descripción de las condiciones físicas que determinan las características pluviométricas regionales. Con esta información se organizó una base de datos que posibilite múltiples consultas utilizando como fuente original la información de los archivos en formato digital.
- ❖ Base de Datos de Pozos. Cátedra de Hidrogeología – Geología de los Recursos Hídricos. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta (2016). Esta

unidad académica cuenta con datos actualizados de perforaciones realizadas por organismos públicos y empresas privadas en todo el ámbito de la provincia de Salta.

- ❖ Hoja Geológica Salta, provincias de Salta y Jujuy (Segemar, 2013), escala 1:250.000. En este trabajo se hace una caracterización estratigráfica, tectónica, geomorfológica, historia geológica y geología económica de la zona que abarca la hoja.

3.2 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

Para la georreferenciación de la imagen satelital, así como para la ubicación de infraestructura, pozos y sondeos eléctricos verticales se utilizó un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Además, se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 con bandas 1, 2 y 3, de color real, para la presentación de los mapas expuestos en este trabajo. La digitalización de rutas, ubicación de SEV y pozos, fueron realizados desde el software Google Earth, Global Mapper 15 y QGIS 2.14. La cartografía de este trabajo se presenta con coordenadas Gauss Krüger – WGS84, POSGAR 94 Faja 3. La información cartográfica de base fue procesada mediante un programa tipo CAD con sistema de coordenadas planas como sistema de referencia.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES EXTERNOS E INTERNOS

En todo estudio hidrogeológico hay dos aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta para su ejecución, ellos son: factores externos e internos con respecto al agua subterránea (Peláez Pruneda, 1973 *in* García Maurizzio, 2013). Los primeros involucran aspectos tales como precipitaciones, temperatura, evaporación, hidrografía, relieve, vegetación y suelos. Los segundos, comprenden la geología donde se desarrollan los acuíferos y las características físicas y químicas del medio de circulación tales como extensión, dirección de flujo e interacción entre los distintos acuíferos.

Clima, Orografía e Hidrografía

El área de estudio está influenciada por las corrientes cálidas - húmedas del anticiclón del Atlántico. Sin embargo, el factor desencadenante de las lluvias es de tipo orográfico. A medida que las corrientes del centro de alta presión del Atlántico ingresan en el continente y enfrentan las altas serranías de la región, ascienden, se enfrían y se condensan en lluvias que, iniciadas en la primavera, adquieren máxima intensidad en verano y, se agotan con el inicio del otoño. El Valle de Lerma y sus alrededores, se caracterizan por variaciones climáticas asociadas a su configuración orográfica. El mismo posee una forma elongada y estrecha en sentido norte - sur. Además, presenta el desarrollo de cordones montañosos de rumbo submeridiano que lo enmarcan a ambos lados, con una notable asimetría en la altura, siendo los del este más bajos que los del oeste, lo que condiciona fuertemente el clima de la región, por efecto orográfico. Esto quiere decir que las mayores precipitaciones se producen sobre la región noroeste del valle con una precipitación de 1.200 mm anuales y las menores, sobre el área este - sureste del mismo con no más de 600 mm anuales.

En cuanto al escurrimiento superficial, el Valle de Lerma se caracteriza por presentar dos cuencas hidrográficas bien definidas: la del río Mojotoro, tributario de la cuenca del río Bermejo, que desemboca en el sistema del río Paraguay al norte, y la del río Juramento-Salado, al sur.

La zona de estudio se emplaza en la cuenca del río Mojotoro. Este curso fluvial nace de la confluencia de los ríos La Caldera y Vaqueros, el primero proveniente del norte recibe como afluentes a los ríos Santa Rufina, San Alejo, Yacones y de Las Nieves o Wierna. Por su parte, el río Vaqueros se forma por la unión de los ríos Lesser y Castellanos con rumbo oeste-este que atraviesan el sector septentrional del valle. Según Baudino (1996) la cuenca de Mojotoro drena una superficie de 835 km². El caudal medio anual correspondiente al período 1942-1984 es de 15,2 m³/s, aforado en la Estación El Angosto.

La zona de estudio carece de cursos fluviales de importancia. Los pequeños y escasos cursos fluviales existentes en la zona son de carácter efímero y solamente transportan agua durante la época de lluvias y, rápidamente pierden caudal después de finalizado el aguacero. Existe una única y principal línea de drenaje que es la Cañada de Burgos que tiene como nivel de base al cuerpo de agua conocido como *La Lagunilla*. Este pequeño arroyo, durante la época estival recibe pequeños y esporádicos aportes de las arroyadas que drenan las laderas Norte de la sierra austral. La Cañada de Burgos confluye con otro pequeño curso fluvial que drena el valle norte, hacia Sureste del sector estudiado y desde allí, con rumbo Oeste-Este, continúa hasta La Lagunilla como un único curso fluvial.

Geología

El estudio y comprensión del ambiente geológico tiene especial importancia en todo trabajo hidrogeológico. En ese sentido es conveniente realizar la determinación y la descripción de las unidades litológicas existentes, como así también de la estructura que afecta regional y localmente a la zona de estudio ya que, a partir de este entendimiento, será posible identificar la potencialidad de las distintas unidades formacionales para conformar reservorios de aguas subterráneas.

Si bien actualmente en gran parte del Valle de Lerma se explotan acuíferos desarrollados en depósitos cuaternarios, no se debe excluir a las unidades formacionales terciarias y aun, más antiguas que se encuentran formando la base de los depósitos modernos, ya que algunos de ellos presentan condiciones favorables para el almacenamiento y movimiento del agua.

El Valle de Lerma se caracteriza por ser una depresión tectónica, intermontana, dentro de la provincia geológica Cordillera Oriental (Turner, 1971, en Baudino, 1996). Esta depresión responde a esfuerzos compresivos en sentido oeste - este que han producido un intenso fallamiento y plegamiento de rumbo submeridiano.

El basamento de la sierra de Mojotoro lo constituyen metamorfitas de bajo grado, estratificadas, intensamente fracturadas y diaclasados. Por encima, discordantemente, se encuentran areniscas cuarcíticas, cuarcitas intercaladas con lutitas arenosas a arena limosas y escasa pelita. Suprayaciendo se encuentran conglomerados, areniscas finas cuarzosas y

lutitas. Todas estas sedimentitas constituyen el basamento del área de estudio. Sobre ellos se depositaron discordantemente sedimentos cuaternarios, representados por depósitos aluviales y coluviales principalmente, que se generaron a expensas de los afloramientos encontrados en el entorno. Estos sedimentos se encuentran como relieves terrazados sobre los faldeos, como asomos de antiguas bajadas aluviales y, los más modernos, rellenando las zonas deprimidas.

Las unidades basales de los depósitos cuaternarios estarían representadas por materiales psefíticos intercalado con arenas, arenas gravosas y en menor proporción pelitas. Suprayaciendo se encuentran depósitos aglomerádicos y conglomerádicos lenticulares con espesores de hasta 2 metros y limolitas y areniscas con espesores de hasta 3 metros. Hacia el techo se reconocen depósitos de limos, arcillas y arenas finas intercaladas con pequeñas capas discontinuas de gravas finas y arenas.

Estructuralmente, la sierra de Mojotoro constituye un anticlinal de rumbo submeridiano cuyo flanco oriental está afectado por un importante sistema de fractura inversa, conocido como Frente Tacónico. Localmente, se aprecian numerosas fallas submeridianas y otras de rumbo NO-SE, generalmente de desplazamiento de rumbo. Otra característica importante del lugar es el importante grado de diaclasamiento que presentan las distintas unidades aflorantes en el lugar.

3.4 RECONOCIMIENTO DE CAMPO

En esta etapa de investigación, se llevaron a cabo una serie de actividades tendientes al cotejo de campo de la cartografía de base, como así también la adquisición de datos necesaria para el desarrollo de la siguiente etapa de investigación. Se realizaron dos viajes de campo para la adquisición de los datos geofísicos y, posteriormente, para el relevamiento de pozos perforados y excavados existentes en el área de influencia de la zona de estudio, efectuando la ubicación geográfica de cada obra, midiendo niveles piezométricos y, cuando fue posible, obtener datos adicionales como profundidad de la captación, usos del agua, calidad, etc.

CAPITULO IV

RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 CARACTERIZACION CLIMATICA E HIDROGRAFICA

El valle de Lerma se encuentra rodeado casi en toda su periferia por altas montañas. Solo en la parte Noreste las alturas son menores y en ella se encuentran valles transversales como los del Portezuelo, Quebrada de Chachapoyas y Quebrada del Mojotoro, que permiten la entrada de vientos, los que finalmente descargan su humedad sobre el alto contrafuerte occidental del valle. En Salta Capital los registros de lluvias señalan 695 mm, en tanto que, en la localidad de San Lorenzo, a solo 11 km de distancia hacia el oeste llueve 1395 mm/año.

El Valle de Lerma está rodeado en casi toda su periferia por altos cordones montañosos, y solo en su parte noreste sus alturas son menores con respecto a los demás cordones. Además, se encuentran quebradas transversales, como la Quebrada de Chachapoyas y Quebrada de Mojotoro que permiten el ingreso de vientos húmedos provenientes del este. Esto se debe a que los cordones que delimitan el valle por el este, al ser de menor altitud, permiten el ingreso de vientos húmedos que son detenidos por los cordones del lado occidental (Cordón de Lesser), con alturas de más de 4.000 metros sobre el nivel de mar, que hacen de barrera orográfica. Al enfrentar la cadena montañosa, el aire húmedo se ve obligado a ascender para atravesar el obstáculo topográfico. Al elevarse se enfría por expansión (enfriamiento adiabático) reduciendo su capacidad para contener vapor de agua. Aquí comienza el proceso de condensación, formándose así las nubes que producen las precipitaciones en las laderas de los cordones montañosos. Esta configuración tiene como resultado no solo el aumento de las lluvias a barlovento de los cordones, sino también una disminución a sotavento de los mismos.

Las temperaturas medias anuales en el valle, cuyas isotermas tienen un trazado submeridiano, aumentan de 16 °C, al NNO, hasta 18 °C al SSE. Esta distribución de las temperaturas, así como el gradiente de precipitaciones dentro del clima subtropical serrano que caracteriza la región, determinan una zonación microclimática dentro del clima subtropical serrano que caracteriza la región. Si bien los inviernos son fríos y secos en todo el valle, las zonas septentrional y occidental gozan de veranos moderados y lluviosos. En la zona central los veranos son cálidos y las lluvias regulares, mientras que en la austral los veranos son cálidos con lluvias escasas (Santillán de Andrés et al., 1968 en García, 1988).

Los datos de precipitación y temperatura de la Estación El Angosto del río Mojotoro, indican para el período 1943 – 1978 tabla 3, una precipitación media anual de 662 mm, (Grafico 12) y una temperatura media anual de 17,9 °C, para el ciclo 1987 al 1990.

Tabla 3: Datos de precipitaciones y temperaturas medias de la Estación El Angosto de Mojotoro.

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
P (mm)	161	145	116	30	9	3	2	2	6	19	55	114	662
T (°C)	22,8	21,5	20,2	17,2	14,5	11,9	12,1	14,0	16,2	19,9	21,8	22,4	17,9

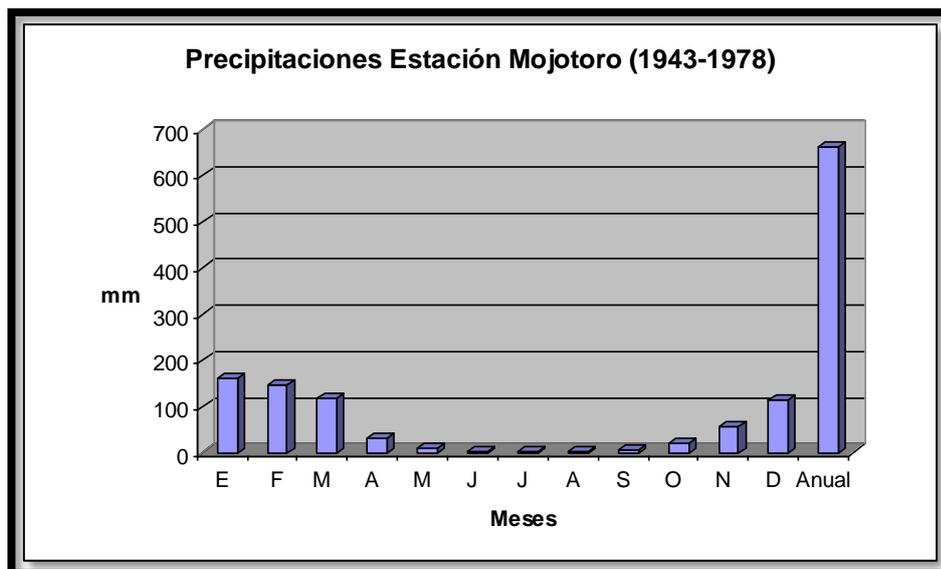


Gráfico 12: Representación de las precipitaciones en La Estación El Angosto de Mojotoro.

Como se observa, la zona presenta un marcado período de sequía entre los meses de abril y noviembre y un período lluvioso desde diciembre hasta marzo, donde ocurre aproximadamente el 81 % de la precipitación anual.

Como ya se señaló, la zona de estudio carece de cursos fluviales de importancia. Los pequeños y escasos cursos fluviales existentes en la zona son de carácter efímero y solamente transportan agua durante la época de lluvias y, rápidamente pierden caudal después de finalizado el aguacero. Existe una única y principal línea de drenaje que se conoce con el nombre de Cañada de Burgos que tiene como nivel de base un pequeño cuerpo de agua superficial: La Lagunilla (Figs. 3 y 4).

Este pequeño arroyo, durante la época estival recibe a los esporádicos aportes de las arroyadas que drenan las laderas Norte de la sierra austral de Mojotoro. La Cañada de Burgos confluye con otro pequeño curso fluvial que drena el valle norte, hacia Sureste del sector estudiado y desde allí, con rumbo Oeste-Este, continúa hasta La Lagunilla como un único curso fluvial. Este último cuerpo de agua es de carácter permanente y se considera que puede tener aportes de aguas subterráneas.

En la zona de estudio se puede advertir la presencia de dos pequeños valles intermontanos; uno en el sector sur, donde actualmente se asienta el Country Valle Escondido y otro en el sector norte donde también se están haciendo emprendimientos inmobiliarios, aunque todavía queda un sector destinado al cultivo. Ambas depresiones se encuentran separadas por un pequeño cordón serrano de unos 1.380 metros sobre el nivel del mar en su sector de divisorias de agua. El valle sur se desarrolla en el sentido del escurrimiento principal (Oeste - Este), alcanzando una longitud de 3.500 metros desde sus nacientes hasta la confluencia con el valle norte, y un ancho máximo de unos 700 metros en sentido Norte - Sur.

Topográficamente, el valle norte, se encuentra ligeramente más alto que el valle austral (aproximadamente unos 20 metros). En el valle norte, existe una pequeña línea de

escurrimiento superficial (actualmente paralelo y cercano a la ruta de acceso) que funciona exclusivamente durante la época de precipitaciones. Esta pequeña depresión tiene una longitud máxima de unos 2.400 metros desde sus nacientes hasta la confluencia con el valle sur, y un ancho máximo de unos 600 metros.

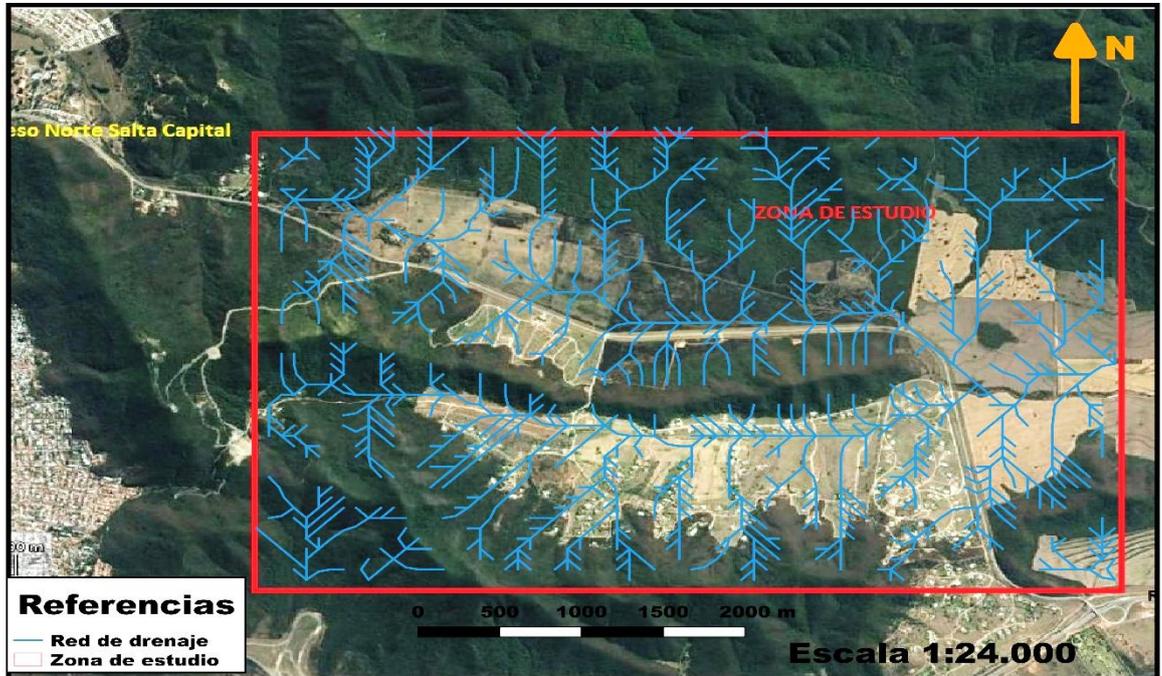


Figura 3: Mapa hidrográfico de la zona de estudio.

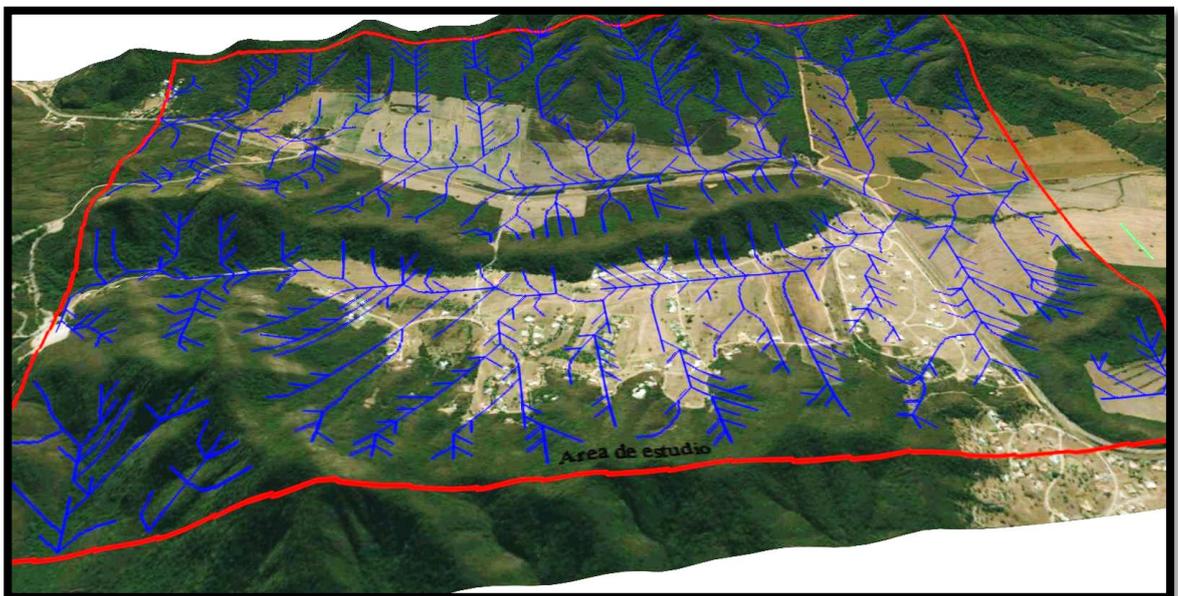


Figura 4: Vista 3D, de la red de drenaje de la zona de estudio.

4.2 AMBIENTE GEOLOGICO

El Valle de Lerma es una depresión tectónica ubicada en la provincia geológica Cordillera Oriental (Turner, 1971). La estructura de esta provincia, que es la prolongación austral de las Cordillera Oriental y Central de Bolivia, responde a esfuerzos compresivos en sentido oeste-este que han producido un intenso fallamiento y plegamiento de rumbo submeridiano.

La Sierra de Mojotoro, conforman un anticlinal complejo, vergente al este con rumbo submeridiano, donde afloran sedimentitas precámbricas y paleozoicas inferiores de la Formación Puncoviscana, Grupo Mesón y Grupo Santa Victoria (García, 1988).

Las rocas más antiguas que conforman el basamento de la sierra de Mojotoro son metamorfitas de bajo a muy bajo grado (pizarras y filitas gris azuladas y cuarcitas grises) de la Formación Puncoviscana. Estas rocas son del Precámbrico Superior – Eocámbrico.

Suprayaciendo, discordantemente, se asientan las sedimentitas del Grupo Mesón del Cámbrico; compuestas por areniscas, conglomerados, cuarcitas y bancos limolíticos. Estas rocas se presentan normalmente con estratificación tabular media a fina y en algunos sectores, con formación de un relieve de "bolas" en los niveles conglomerádicos.

Por encima de la secuencia anterior se disponen las rocas del Ordovícico, representada por el Grupo Santa Victoria. Esta unidad está compuesta por areniscas micáceas muy finas gris verdosas y verde amarillentas, areniscas limosas, pelitas amarillentas, verdosas.

Los sedimentos de edad holocena se asientan sobre las unidades anteriores en forma discordante y están representados por sedimentos aluviales y coluviales formados a expensas de las unidades aflorantes en el entorno. Estos sedimentos ocupan y rellenan parte del pequeño valle fluvial y corresponden principalmente a facies sedimentarias finas (limos, arcillas y arenas finas) intercaladas con pequeñas capas discontinuas de gravas finas y arenas con matriz limosa a limoarcillosas.

Para la descripción de las unidades aflorantes en el área de estudio, se tuvo en cuenta principalmente la hoja geológica Salta y lo publicado en los léxicos estratigráficos disponibles (fig.5).

Neoproterozoico - Cámbrico Inferior

Grupo Lerma

Fue definido por Salfity et al., (1975) y está integrado por las formaciones Sancha Omarini, (1983) y Baldis y Omarini, (1984), Las Tienditas (Ortiz, 1962), Puncoviscana (Turner, 1960) y Corralito (Salfity, 1968).

Formación Sancha (Ortiz, 1962): Conformada por una secuencia silicoclástica, principalmente arcillosa finamente estratificada. Esta unidad no metamórfica o leptometamórficas, se restringe a la sierra de Castillejo, al norte de la megatrayza Calama – Olacapato – Toro (COT).

Formación Las Tienditas (Ortiz, 1962): Apoya en concordancia sobre la unidad anterior y se restringe a la misma área en que aflora la anterior (sector sudeste de la ciudad de Salta). Está compuesta por calizas negras y rosadas, en parte oolíticas, estratificadas en bancos macizos (Aceñolaza y Aceñolaza, 2005). En base a isótopos de carbono y oxígeno, Sial et al., (2000) interpretan que contiene la transición Neoproterozoico/Cámbrico basal.

Formación Puncoviscana (Turner, 1960): Está integrada por sedimentitas arenosas finas, y pelíticas de colores gris, castaño, rojizo y morado, de origen marino, en general está atravesada por venas de cuarzo lechoso. Presenta metamorfismo regional de bajo grado y un intenso plegamiento y fracturación en sucesivas fases diastróficas. En las serranías occidentales del Valle de Lerma aflora en extensas superficies coincidiendo con las máximas elevaciones topográficas. Nuevos estudios en los últimos años definieron una litología dominante caracterizada por alternancia de psamitas y pelitas que ha sido generalmente caracterizada como depósitos turbidíticos.

Formación Corralito (Salfity, 1968): La secuencia del Grupo Lerma, culminaría con el depósito de un conglomerado polimítico, con matriz arenosa que indica condiciones de borde de cuenca, posiblemente relacionados a ambientes fluviales, los cuales hacia el interior de la cuenca (al Oeste de la localidad de Rosario de Lerma) pasan a facies A1, A2 y C2 de ambientes turbidíticos, de acuerdo a la nomenclatura de Mutti de flysch.

Cámbrico Medio

Grupo Mesón

Fue definido por Turner (1960) para integrar a las formaciones Lizoite, Campanario y Chalhualmayoc, en una secuencia anteriormente estudiada por Keidel (1910). Los afloramientos se restringen al ámbito de la Cordillera Oriental, al norte del lineamiento COT, teniendo como límites al Frente Púnico por el occidente y al Frente Oclóyico por el oriente (Sánchez y Salfity, 1999).

Formación Lizoite: apoya en discordancia angular sobre el Grupo Lerma, se inicia con un conglomerado basal en una secuencia de gradación normal que culmina con cuarcitas de grano medio a fino de color morado. Contiene frecuentes entrecruzamientos y superficies de reactivación. Representa flujos de grava de procedencia oeste a noroeste que pasan a canales y barras inter a submareales.

Formación Campanario: es una secuencia heterolítica de gradación normal con alternancia de cuarcitas medianas a finas y fangolitas. Es contenedora de abundantes trazas fósiles de la icnofacies de Skolithos-Glossifungites y Cruziana, representativas de las zonas intermareales y submareales. Suele dividirse en un miembro verde, con predominio de arenas medianas con estratificación tabular y uno morado de granulometría más fina hasta fangolita con estratificación ondulosa y lenticular.

Formación Chalhualmayoc: es una secuencia grano decreciente de cuarcitas rosadas blanquecinas, bien seleccionadas, de grano medio a fino. La estratificación es tabular con

algunos entrecruzamientos en la porción superior, representativa de barras de arena inter a submareales.

Ordovícico

Grupo Santa Victoria

Fue definido por Turner (1960) para las unidades Cámbrico Superior Alto – Arenigiano Medio en la Cordillera Oriental de Salta y Jujuy. En su localidad tipo, la Sierra de Santa Victoria, está integrado por la Formación Santa Rosita y la Formación Acoite (Harrington in Harrington y Leanza, 1957). La cuenca ordovícica está restringida al norte de la megatrazza COT y en la sierra de Mojotoro comprende las formaciones La Pedrera, San José, Caldera, Floresta, Áspero, San Bernardo, Mojotoro y Santa Gertrudis, siendo los afloramientos mayoritarios. Todas las unidades fueron datadas en base a asociaciones de graptolites (Moya et al, 1999).

Formación La Pedrera: Representa la sedimentación del cámbrico superior terminal y apoya en discordancia erosiva sobre el Grupo mesón. La unidad inicia con un conglomerado basal y está compuesta por areniscas cuarzosas gris blanquecinas, con algunas intercalaciones pelíticas. La estratificación es paralela y planar de bajo ángulo.

Formación San José: Representa la sedimentación del Tremadociano Inferior y apoya en contacto transicional a la subyacente. Es una unidad mayormente pelítica de color gris verdoso, que contiene interlaminações de waques finas, con gradación normal. Al igual que la anterior, es interpretada como de estadio transgresivo. Es portadora de abundante bentónica de ambiente de plataforma externa proximal (Moya, 1998).

Formación Caldera: está compuesta por dos miembros; inferior y superior de areniscas blancas amarillentas de grano medio a fino, con un miembro intermedio psamopelítico.

Formación Floresta: representa el Tremadociano Superior y son facies psamopelíticas con abundantes bancos de coquinas asociados a psefitasdebroides.

Formación Áspero (Harrington, 1957): son psamopelitas amarillas y grisáceas con intercalaciones e areniscas calcáreas y capas finas de calizas grises masivas. Esta unidad representa el Tremadociano Superior Cuspidal.

Formación San Bernardo (Harrington, 1957): representa la transgresión arenigiana y son lutitas limosas, limolitas y waques cuarzosas finas de color verde oliva, con intercalaciones de bancos finos de areniscas finas laminadas y con estratificación cruzada del tipo hummocky. Es contenedora de abundante y variada fauna de ambientes bentónicos someros, de transición entre la playa interna y externa.

Formación Mojotoro: son areniscas cuarzosas de edad Llanvirniano (Volkheimer et al., 1980), de color blanco grisáceo, rosados o amarillentos, estratificadas en bancos tabulares o lenticulares con presencia de conglomerados finos en la base de algunos estratos. Representa depósitos de barras y canales en ambiente intertidal.

Formación Santa Gertrudis: representa el llanddeliano-caradociano (Monaldi, 1982), son waques finas y medianas y limolitas micáceas. Contiene abundante fauna e intervalos con

nódulos fosfáticos interpretados como de ambiente de anteplaya inferior con circulación restringida (Moya, 1998).

Cuaternario

Grupo Valle de Lerma

El término fue propuesto por González Bonorino y Abascal (2012) para agrupar al relleno post terciario del Valle de Lerma, apoyado sobre la discordancia angular que lo separa de los sedimentos de la Formación Piquete. Está integrado por las formaciones Calvimonte, Tajamar y La Viña.

Formación Calvimonte: En el área de estudio se restringe enteramente al subsuelo (Gallardo et al., 1996). Está compuesta por más de 100 metros de gravas medianas gris oscuras, friables y macizas, con clastos subredondeados de grauvacas, areniscas, cuarcitas y cristaloclastos de cuarzo; la matriz es arena cuarzosa, castaño-amarillenta pálida con intercalaciones delgadas y discontinuas de arcilla. En el flanco occidental (Campo Quijano) aflora su base, donde se asienta sobre la Formación Puncoviscana y hacia el centro del valle (en subsuelo) se apoya sobre sedimentitas terciarias definidas según datos de registros sísmicos, de pozo y geoelectrónicos, infieren que su mayor desarrollo está en subsuelo.

Formación Tajamar: aflora en la localidad de Rumical, al sur y muy próximo al área de estudio (Gallardo et al. 1996), en base a la altitud de los afloramientos y la pendiente del piso del valle, de estudios sísmicos (González Bonorino y Abascal, 2012), correlación de pozos (Baudino 1996) proponen una extensión hacia el norte de los afloramientos de al menos 10 kilómetros en el subsuelo. Con lo que la unidad tendría una extensión en sentido meridiano de 65 kilómetros y un ancho de kilómetros con espesor máximo de 43 metros (Carabanti, 2005). El depósito apoya en discordancia sobre la Formación Calvimonte o sobre Piquete. Se caracteriza por estar constituidas por una alternancia de limolitas y arcillitas castañas claras, amarillentas y rojizas, con estratificación tabular fina a muy fina e interna laminar, con intercalaciones laminares de yeso, concreciones calcáreas y ferríticas aplanadas de color castaño amarillento, y nódulos de manganeso. Intercalan estratos tabulares finos a medianos de arenas finas a muy finas, grises y castañas amarillentas pálidas, masivas o con bioturbación incipiente, ondulitas trepantes y de corriente, laminación ondulada y, frecuentemente, gradación normal o inversa, que corresponderían a un antiguo Lago Lerma desarrollado en el borde oriental del Valle de Lerma.

Formación La Viña: Apoya con discordancia de bajo ángulo sobre la Formación Tajamar, sobre Formación Calvimonte en la parte más austral del Valle y sobre unidades precuaternarias en las márgenes del valle. Comprende unos 25 metros de potencia de grava y arena aluviales con intercalaciones de paleosuelos. La litología de esta formación es muy variable en sentido vertical y lateral. Los depósitos que ocupan la porción central del valle en sus flancos orientales y occidentales están cortados por cauces modernos y se presentan terrazados. En sentido Este – Oeste y está representada por facies clásticas gruesas como gravas de baja selección, caóticas, matriz sostén, gravas bien seleccionadas con escasa matriz, buen redondeamiento de los clastos e imbricación, gravas clasto sostén, matriz arenosa gruesa a sabulíticas, con estratificación interna planar o en artesa y gravas con

estratificación horizontal poco marcada, abundante matriz areno-limosa. Las distintas facies representan depósitos de barras menores, de mantos de inundación y flujos de detritos que caracterizan ambientes de abanicos aluviales, que gradan a depósitos distales y de ríos entrelazados gravosos caracterizados por canales y barras que interdigitan con depósitos de planicies de inundación. Una toba en su base fue datada en $0,1 \pm 0,04$ Ma (Malamud et al., 1996).

Estructuralmente, la zona de estudio se desarrolla sobre un pequeño valle intermontano de la sierra de Mojotoro. Esta unidad fisiográfica pertenece a la Provincia Morfoestructural Cordillera Oriental, y la sierra, constituye una estructura anticlinal de rumbo submeridiano cuyo flanco oriental está afectado por un importante sistema de fractura inversa, conocido como Frente de Fracturación Tectónico. Este frente, de importancia regional, posee rumbo submeridiano, labio bajo hacia el este y se inclina hacia el oeste afectando la vertiente oriental de la sierra; la estructura principal, genera numerosas fallas paralelas y oblicuas secundarias. De esta manera, la sierra de Mojotoro conforma una estructura anticlinal, con basamento sobre elevado, muy fracturado, casi volcado, con vergencia hacia el este y monta sobre los depósitos cuaternarios de la Formación Calvimonte. Esta formación se distingue claramente por su morfología y una red de drenaje muy peculiar, con remanentes de superficies planas, casi todas al mismo nivel, que configuraban un piedemonte. Estos depósitos de piedemonte son previos y coetáneos con la elevación de la sierra de Mojotoro.

El contacto oriental de la Formación Calvimonte con los depósitos cuaternarios pleistocénicos, se interpreta como tectónico, es decir, a través de una falla inversa, con labio hundido hacia el este, por la notable alineación de los afloramientos y la coincidencia desde esa línea entre los ápices de los conos más modernos. Una nueva fase de depósitos cuaternarios terrazados más modernos, se ubican dentro de una fosa o depresión, producto de una nueva reactivación, con la elevación a través de una falla, de los depósitos de terrazas más antiguas. El ascenso de la sierra de Mojotoro se corroboraría por el drenaje entrecruzado entre la subcuenca de La Lagunilla y los afluentes de los arroyos de la parte superior. Bustamante Acosta, (2004).

A lo largo del flanco occidental de la sierra de Mojotoro, otras estructuras de importancia estarían representadas por fallas de rumbo Norte - Sur. Viera (1967 in Bustamante Acosta, 2004) considera que estas fallas son normales, de alto ángulo, de forma que limitan la fosa tectónica del Valle de Lerma. Estas fallas estarían en gran medida cubiertas por los depósitos de los ríos de la zona (Arias – Arenales y La Caldera) y por los pies de montes de la sierra de Mojotoro.

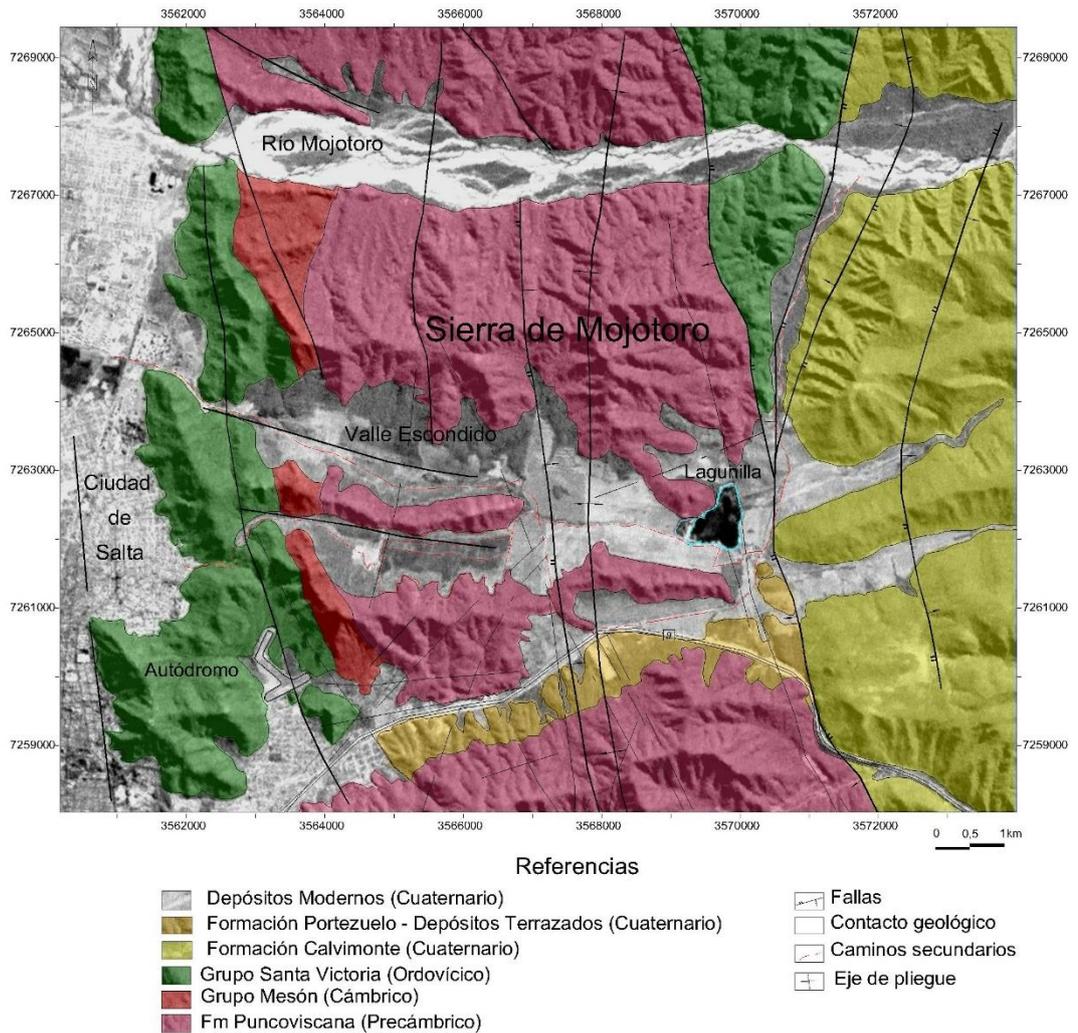


Figura 5: Mapa geológico simplificado de la zona de estudio y alrededores.

4.3 CARACTERIZACION HIDROGELÓGICA LOCAL

La historia geológica y sus geformas resultantes, la diversidad climática actual y las modificaciones fisiográficas sufridas en el pasado geológico reciente dan como resultado un complejo ambiente hidrogeológico.

Como ya se ha señalado, el basamento de la sierra de Mojotoro está conformado por metamorfitas de bajo grado, estratificadas, intensamente fracturadas y diaclasados. Por encima, discordantemente, se encuentran areniscas cuarcíticas, cuarcitas intercaladas con lutitas arenosas a areno limosas y escasa pelita. Suprayaciendo se encuentran conglomerados, areniscas finas cuarzosas y lutitas. Todas estas sedimentitas constituyen el basamento del área de estudio. Sobre ellos se depositaron discordantemente sedimentos cuaternarios y actuales, representados por depósitos aluviales y coluviales principalmente, que se generaron a expensas de los afloramientos encontrados en el entorno. Estos

sedimentos se encuentran como relieves aterrizados sobre los faldeos, como asomos de antiguas bajadas aluviales y, los más modernos, relleno de las zonas deprimidas.

Las unidades basales de los depósitos cuaternarios estarían representadas por materiales pefíticos intercalado con arenas, arenas gravosas y en menor proporción pelitas. Suprayaciendo se encuentran depósitos aglomerádicos y conglomerádicos lenticulares con espesores de hasta 2 metros y limolitas y areniscas con espesores de hasta 3 metros. Hacia el techo se reconocen depósitos de limos, arcillas y arenas finas intercaladas con pequeñas capas discontinuas de gravas finas y arenas.

Estudios geofísicos realizados por otros autores (Conhidro, 2005 y 2011), brindaron importante información del subsuelo respecto a valores de resistividad y espesores. Al mismo tiempo, se pudo establecer que existen sectores bien diferenciados en cuanto a la respuesta eléctrica del subsuelo, señalando así áreas donde existe una cobertura sedimentaria moderna importante para el ambiente (más de 50 metros de potencia), sectores donde el basamento se encuentra subaflorando (con escasa cobertura sedimentaria moderna); como así también ha permitido identificar sectores donde el basamento rocoso se encuentra fracturado y/o alterado.

Por otra parte, el análisis de la información litológica de los perfiles de pozos y registros geofísicos (potencial espontáneo, resistividad normal corta y larga), ha permitido caracterizar este complejo ambiente y, al mismo tiempo, señalar que la región presenta un potencial hidrogeológico importante dentro de un ambiente geológico que, en principio, parece no ser favorable para el almacenamiento de agua subterránea.

4.4. PROSPECCION GEOELECTRICA

Con la finalidad de establecer las características litológicas y las condiciones estructurales del subsuelo, se realizaron 12 (doce) Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) de investigación profunda, y se efectuó la reinterpretación de dos (2) SEV existentes en la zona de estudio y de los cuales se cuenta con los datos de registro originales de resistividad aparente (Fig. 6). Estos últimos fueron identificados como SEV 08 y 09. La interpretación del modelo físico - matemático obtenido mediante la prospección geofísica, se realizó teniendo en cuenta el ambiente geológico de la región y la configuración del modelo de curva.

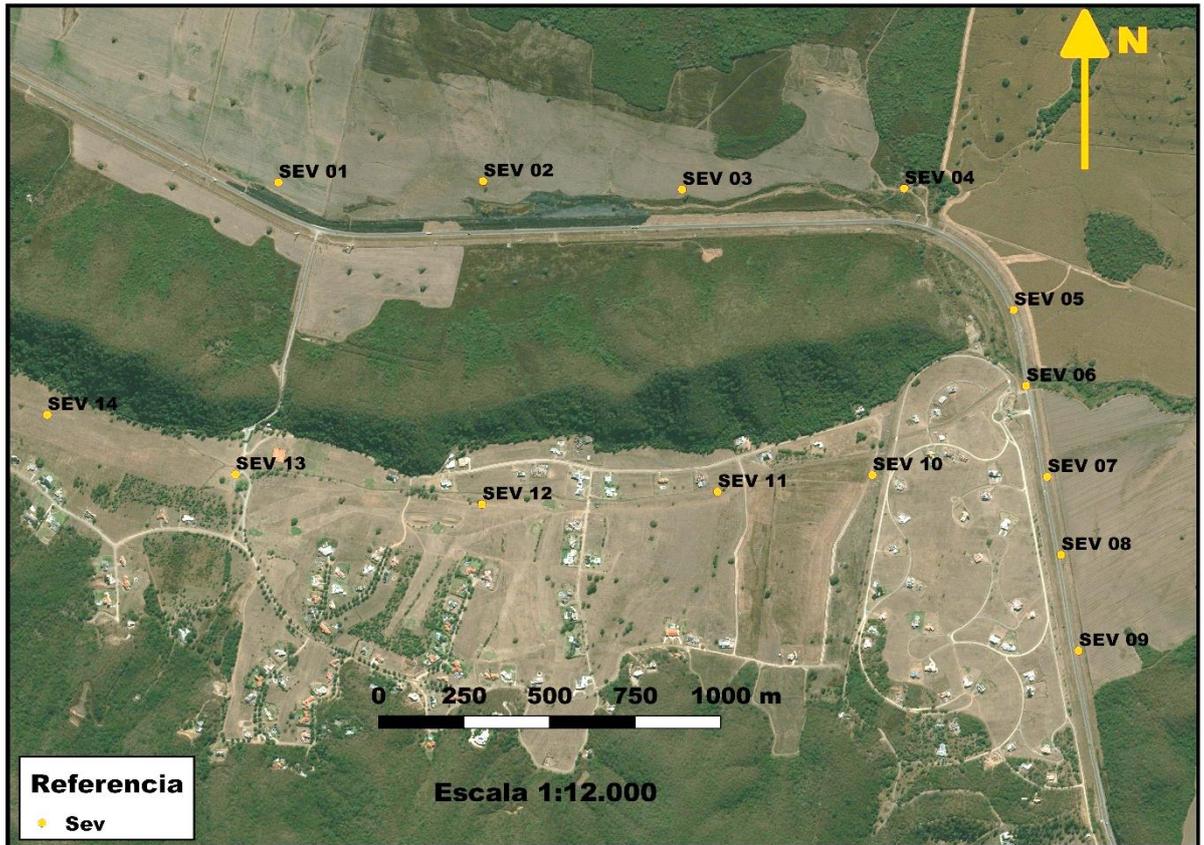


Figura 6: Mapa de ubicación de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

Las interpretaciones de los modelos de cada Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), se resumen a continuación:

SEV 01 (7262643.03 Norte ;3564872.949 Este)

11,5	3,8 m
16	94 m
50	

El corte geoelectrico (Fig.7), presenta una sucesión de tres electrocapas. La primera, se interpreta como sedimentos modernos secos, cuya base se encuentra a los 3,8 metros de profundidad aproximadamente. Infrayaciendo se encuentra una electrocapa con valores moderados de resistividad (16 Ohm.m) asignada a facies sedimentarias cuaternarias y/o sedimentitas alteradas, posiblemente saturadas, cuya base se asienta en los 94 metros aproximadamente. Infrayaciendo se detectan valores resistivos (50 Ohm.m) asignados a facies del basamento hidrogeológico (rocas).

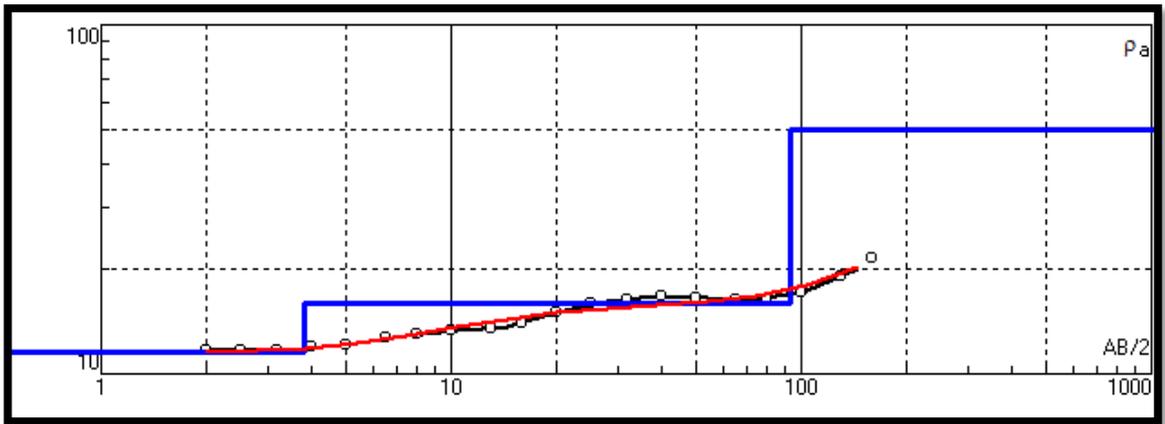


Figura 7: Modelo del SEV 01, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 02 (7262646.365 Norte;3565471.458 Este)

17,5	4,2 m
60	5 m
14,5	91 m
118	

El corte geoelectrico (Fig.8), presenta una sucesión de cuatro electrocapas. Las dos primeras, se interpretan como sedimentos modernos secos, cuya base se encuentra a los 5 metros de profundidad aproximadamente. Infrayaciendo se encuentran valores moderados de resistividad (14,5 Ohm.m) asignada a facies sedimentarias cuaternarias y/o a sedimentitas alteradas, posiblemente saturadas que se extiende hasta los 91 metros de profundidad aproximadamente. La capa inferior es un nivel resistivo (118 Ohm.m) asignado a sedimentitas pertenecientes al basamento hidrogeológico (rocas).

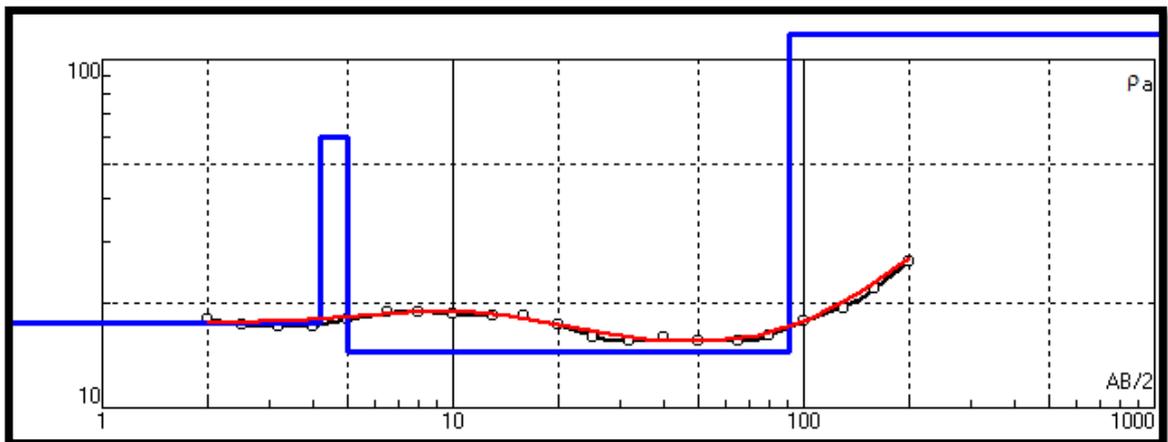


Figura 8: Modelo del SEV 02, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 03 (7262622.062 Norte;3566052.978 Este)

36	1,2 m
17	5,2 m
22	23 m
11	48 m
74	

El corte geoelectrico (Fig.9), presenta una sucesión de cinco electrocapas. Las dos primeras corresponden a sedimentos modernos, secos, que se extienden hasta una profundidad aproximadamente de 5,2 metros. Por debajo se detectan valores moderados de resistividad (22 y 11 Ohm.m) correspondiente a facies sedimentarias cuaternarias y/o sedimentitas alteradas, posiblemente saturadas, cuya base se localiza en los 48 metros de profundidad aproximadamente. Por debajo se identifica un valor resistivo (74 Ohm.m) asignado a sedimentitas del basamento hidrogeológico (rocas).

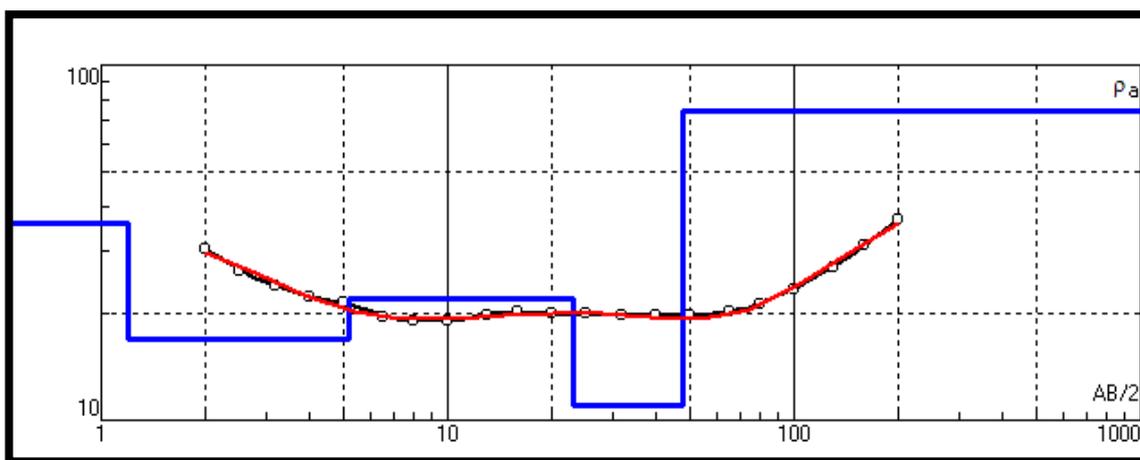


Figura 9: Modelo del SEV 03, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 04 (7262625.103 Norte;3566702.065 Este)

25	1,2 m
5	2,1 m
16,5	70,0 m
80	

El corte geoelectrico (Fig.10), presenta una sucesión de cuatro electrocapas. Las dos primeras, se interpretan como sedimentos modernos secos, cuya base se encuentra a los 2,1 metros de profundidad aproximadamente. Infrayaciendo se encuentra una electrocapa con valores moderados de resistividad (16,5 Ohm.m) asignada a facies de facies sedimentarias cuaternarias y/o sedimentitas alteradas, posiblemente saturadas, que se extiende hasta los 70 metros de profundidad aproximadamente. La capa inferior corresponde a un nivel resistivo (80 Ohm.m) asignado a sedimentitas del basamento hidrogeológico (rocas).

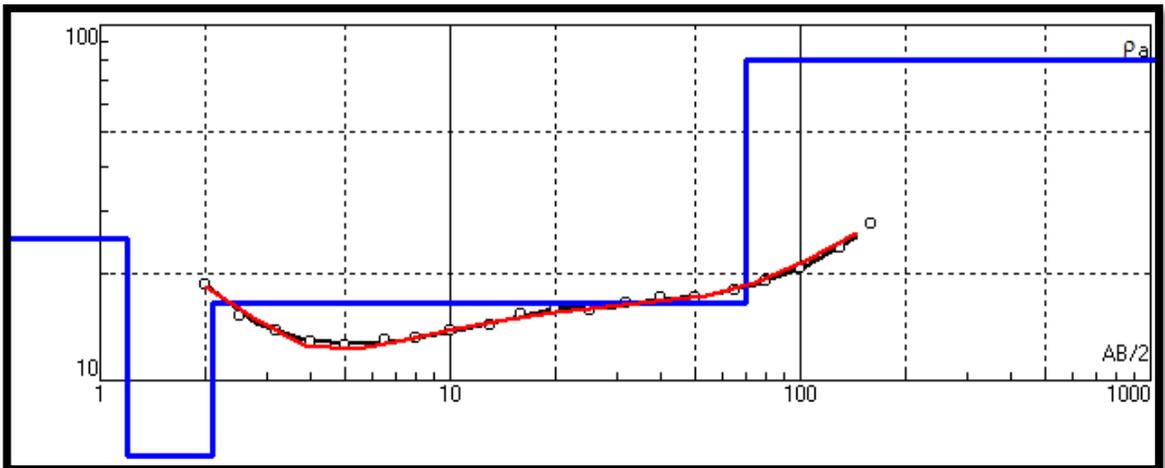


Figura 10: Modelo del SEV 04, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 05 (7262267.839 Norte; 3567022.342 Este)

19	5,5 m
15	15 m
25	60 m
140	

El corte geoelectrico (Fig.11), presenta una sucesión de cuatro electrocapas. Las dos primeras, con valores bajos de resistividad, corresponderían a sedimentos modernos, secos que se extenderían hasta los 15 metros de profundidad. Por debajo se detectan valores moderados de resistividad (25 Ohm.m) hasta los 60 metros de profundidad que se asignan a facies sedimentarias cuaternarias saturadas y/o rocas alteradas saturadas. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (140 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

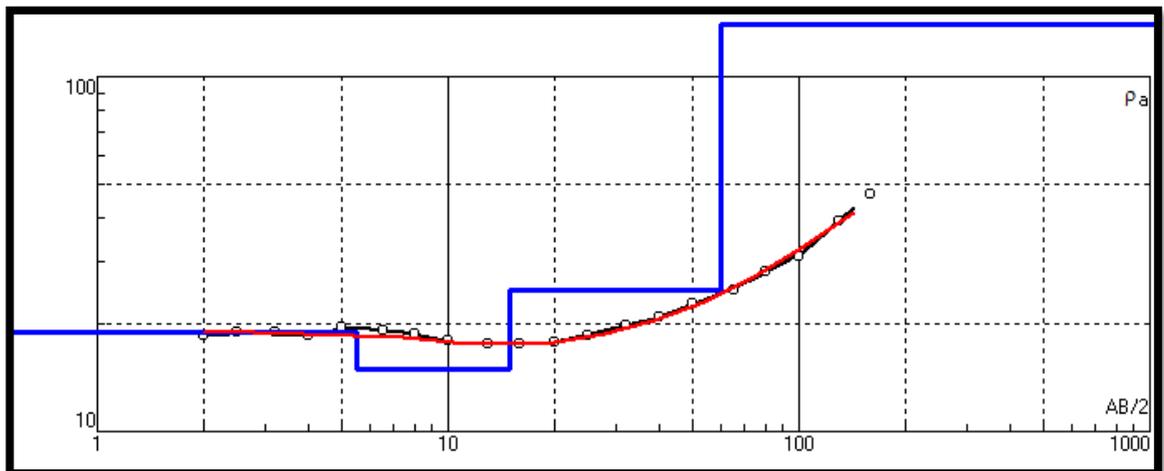


Figura 11: Modelo del SEV 05, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 06 (7262044.266 Norte; 3567058.066 Este)

15	2,3 m
20	26 m
13	60 m
200	

El corte geoelectrico (Fig.12), presenta una sucesión de cuatro electrocapas. Las dos primeras, con valores bajos de resistividad, corresponderían a sedimentos modernos, secos que se extenderían hasta los 26 metros de profundidad. Por debajo se detectan valores moderados de resistividad (13 Ohm.m) hasta los 60 metros de profundidad que se asignan a facies sedimentarias cuaternarias saturadas y/o rocas alteradas saturadas. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (140 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

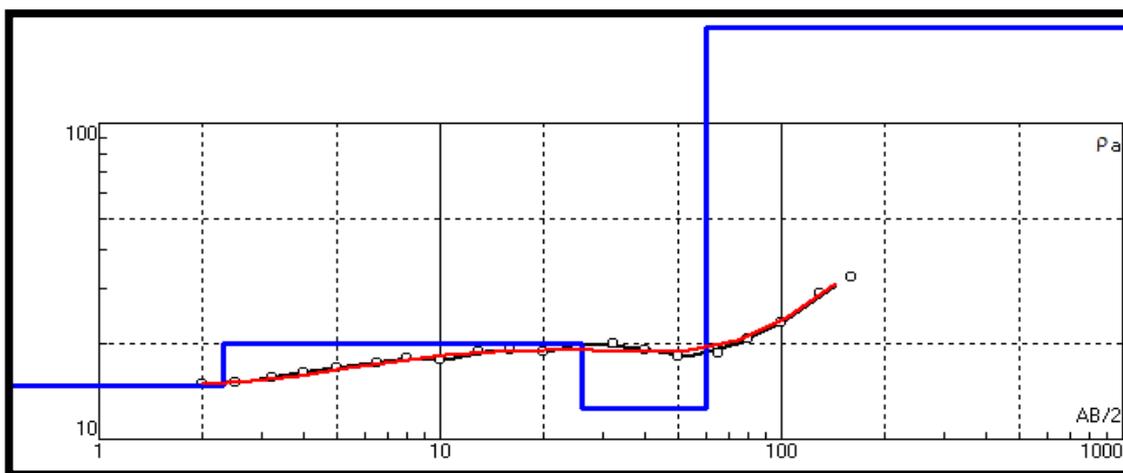


Figura 12: Modelo del SEV 06, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 07 (7261776.561 Norte; 3567120.267 Este)

12	1,2 m
14	70 m
60	

El corte geoelectrico (Fig.13), presenta una sucesión de tres electrocapas. La primera, con valores bajos de resistividad, correspondería a sedimentos modernos, secos que se extenderían hasta los 1,2 metros de profundidad. Por debajo se detectan valores ligeramente superiores a al anterior (14 Ohm.m) hasta los 70 metros de profundidad que se asignan a facies sedimentarias cuaternarias saturadas y/o rocas alteradas saturadas. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (60 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

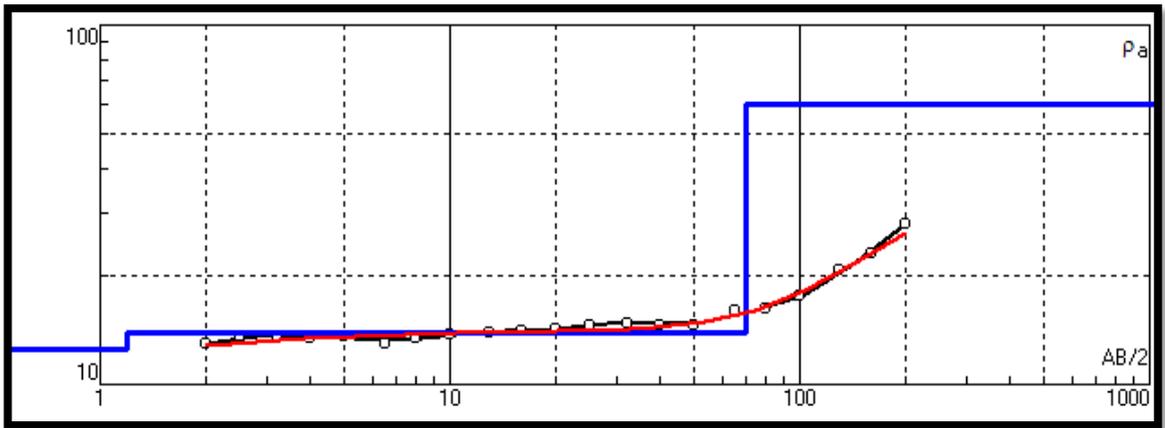


Figura 13: Modelo del SEV 07, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 08 (7261547.118 Norte; 3567160.736 Este)

16	1 m
7	2,8 m
30,5	5,5 m
4	10,8 m
350	

El corte geoelectrico (Fig.14), presenta una sucesión de cinco electrocapas. Las cuatro primeras con valores de resistividad variables entre 4 y 30,5 Ohm.m, representan a materiales aluviales modernos, secos, compuestos por gravas arcillosas y arcillas que se extienden hasta una profundidad de aproximadamente 11 metros. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (350 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

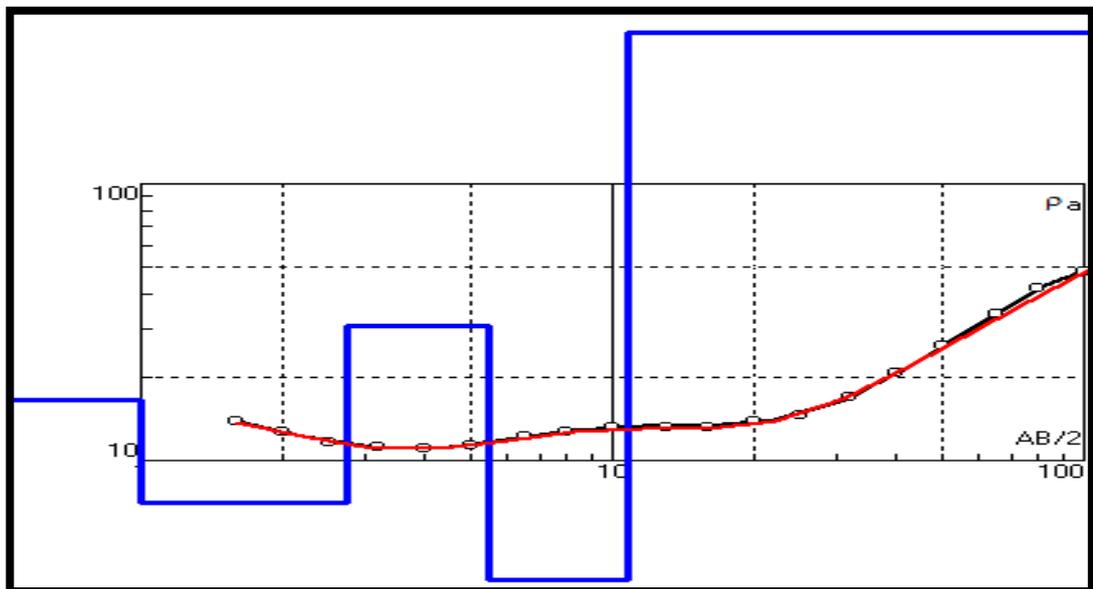


Figura 14: Modelo del SEV 08, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 09 (7261264.696 Norte; 3567211.904 Este)

17	1 m
10	7 m
14	11 m
400	

El corte geoelectrico (Fig.15), presenta una sucesión de cuatro electrocapas. Las tres primeras con valores de resistividad variables entre 10 y 17 Ohm.m, representan a materiales aluviales modernos, secos, compuestos por gravas arcillosas y arcillas limosas que se extienden hasta una profundidad de aproximadamente 11 metros. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (400 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

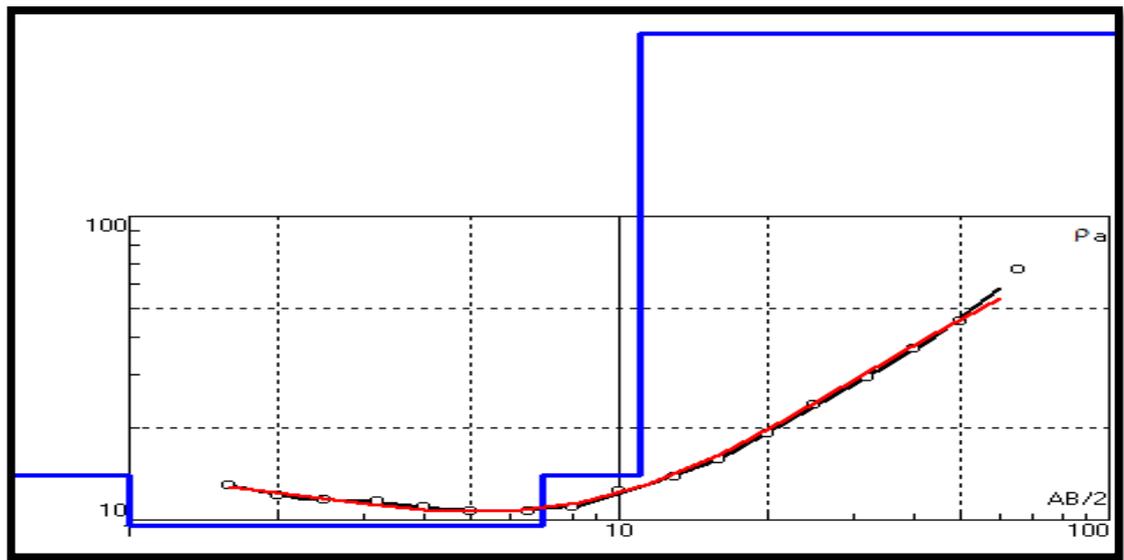


Figura 15: Modelo del SEV 09, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 10 (7261781.493 Norte; 3566609.213 Este)

15	1 m
9	8 m
14	90 m
500	

El corte geoelectrico (Fig.16), presenta una sucesión de cuatro electrocapas. Las dos primeras, con valores bajos de resistividad, corresponderían a sedimentos modernos, secos que se extenderían hasta los 8 metros de profundidad. Por debajo se detectan valores ligeramente superiores a los suprayacentes (14 Ohm.m) hasta los 90 metros de profundidad que se asignan a facies sedimentarias cuaternarias saturadas y/o rocas alteradas saturadas. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (500 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

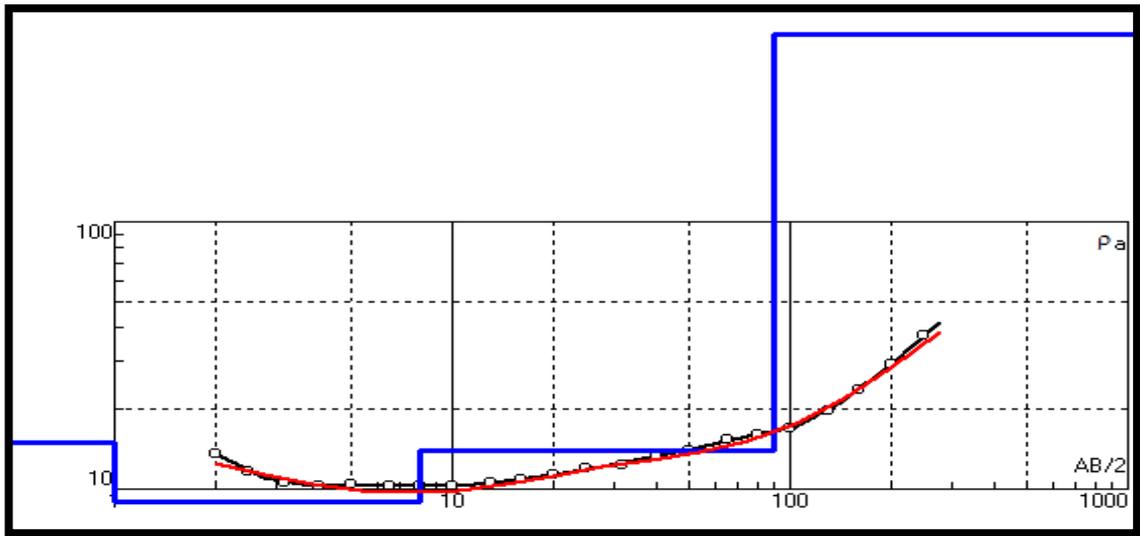


Figura 16: Modelo del SEV 10, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 11 (7261732.277 Norte; 3566156.621 Este)

43	1 m
14	6 m
18	55 m
80	

El corte geoelectrico (Fig.17), presenta una sucesión de cuatro electrocapas. Las dos primeras, con valores bajos de resistividad, corresponderían a sedimentos modernos, secos que se extenderían hasta los 6 metros de profundidad. Por debajo se detectan valores ligeramente más alto que el suprayacente (18 Ohm.m) hasta los 55 metros de profundidad que se asignan a facies sedimentarias cuaternarias saturadas y/o rocas alteradas saturadas. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (80 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

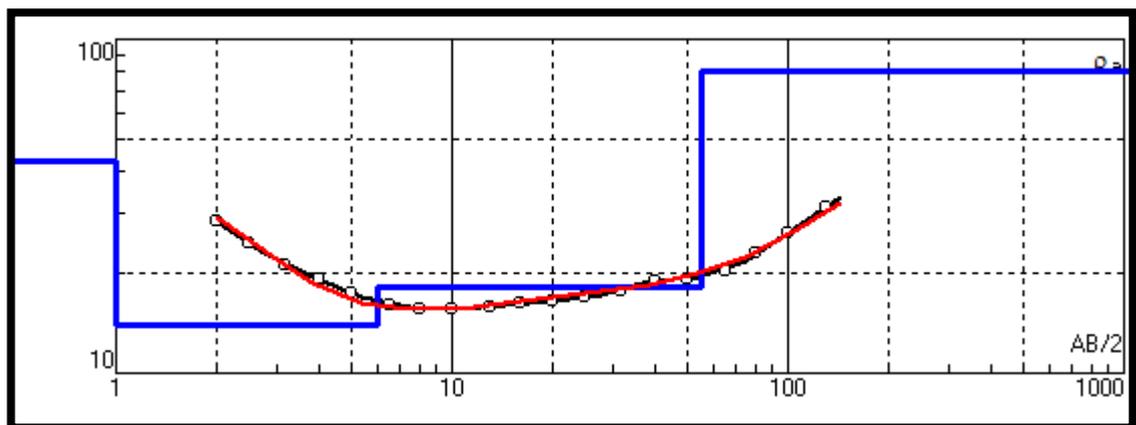


Figura 17: Modelo del SEV 11, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 12 (7261695.55 Norte; 3565468.083 Este)

21	1 m
50	4 m
15	36 m
70	

El corte geoelectrico (Fig.18), presenta una sucesión de cuatro electrocapas. Las dos primeras, con valores bajos de resistividad, corresponderían a sedimentos modernos, secos que se extenderían hasta los 4 metros de profundidad. Por debajo se detectan valores semiconductivos (15 Ohm.m) hasta los 36 metros de profundidad que se asignan a facies sedimentarias cuaternarias saturadas y/o rocas alteradas saturadas. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (70 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

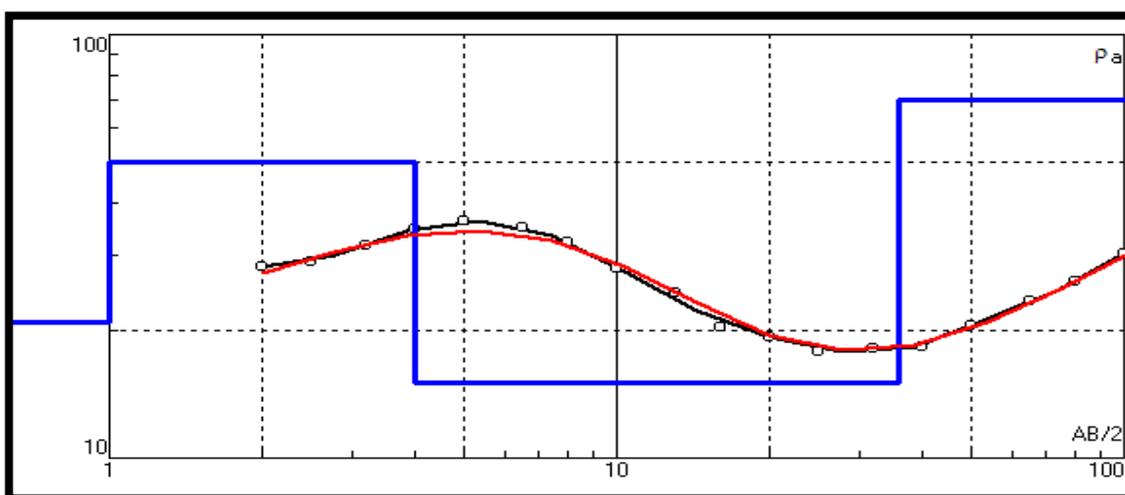


Figura 18: Modelo del SEV 12, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 13 (7261783.561 Norte; 3564747.823 Este)

44	0,6 m
21	2 m
26	4,5 m
13	32 m
69	

El corte geoelectrico (Fig.19), presenta una sucesión de cinco electrocapas. Las tres primeras, con valores moderados a bajos de resistividad, corresponderían a sedimentos modernos, secos que se extenderían hasta los 4,5 metros de profundidad. Por debajo se detectan valores semiconductivos (13 Ohm.m) hasta los 32 metros de profundidad que se asignan a facies sedimentarias cuaternarias saturadas y/o rocas alteradas saturadas. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (69 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

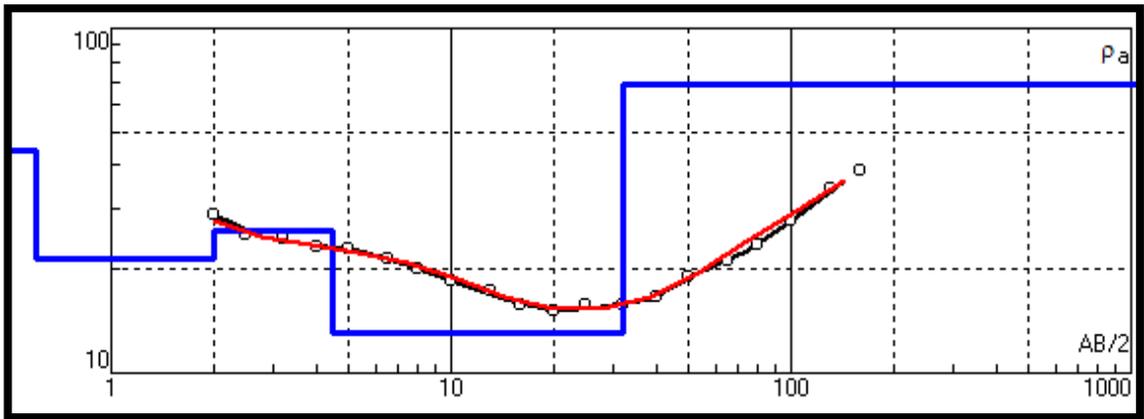


Figura 19: Modelo del SEV 13, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

SEV 14 (7261959.059 Norte; 3564197.664 Este)

18	0,5 m
21	5 m
12	32 m
39	

El corte geoelectrico (Fig.20), presenta una sucesión de cuatro electrocapas. Las dos primeras, con valores bajos de resistividad, corresponderían a sedimentos modernos, secos que se extenderían hasta los 5 metros de profundidad. Por debajo se detectan valores semiconductivos (12 Ohm.m) hasta los 32 metros de profundidad que se asignan a facies sedimentarias cuaternarias saturadas y/o rocas alteradas saturadas. Conformando la base de la secuencia investigada se detectaron valores resistivos (39 Ohm.m) asignadas a las sedimentitas del basamento rocoso.

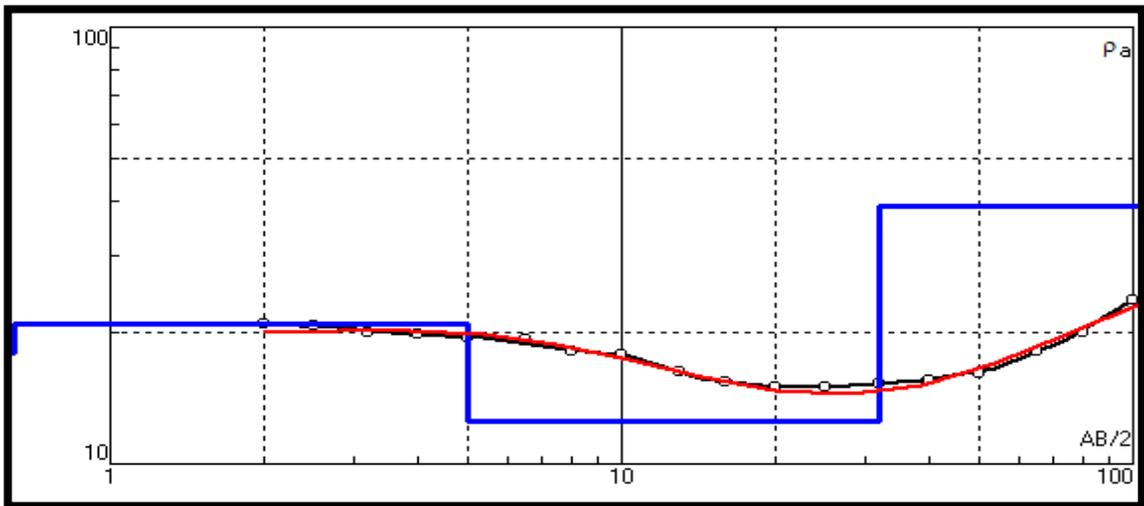


Figura 20: Modelo del SEV 14, mostrando la curva de campo empalmada, interpretada, profundidad y resistividades verdaderas.

4.4.1 Perfiles Geológicos - Geofísicos

Luego de analizar las distintas electrocapas detectadas en cada sondeo eléctrico vertical (SEV), se realizaron tres perfiles geoelectrónicos (Fig.21), donde se correlacionaron las unidades que presentan una respuesta similar desde el punto de vista de configuración de curva; además se utilizó, como forma de complementar la información obtenida, legajos técnicos de pozos cercanos a la zona donde se realizaron estos sondeos, que tengan información como perfiles litológicos y perfilajes geofísicos de Potencial Espontaneo (SP); Resistividad Normal Corta (RC) y Resistividad Normal Larga (NL).

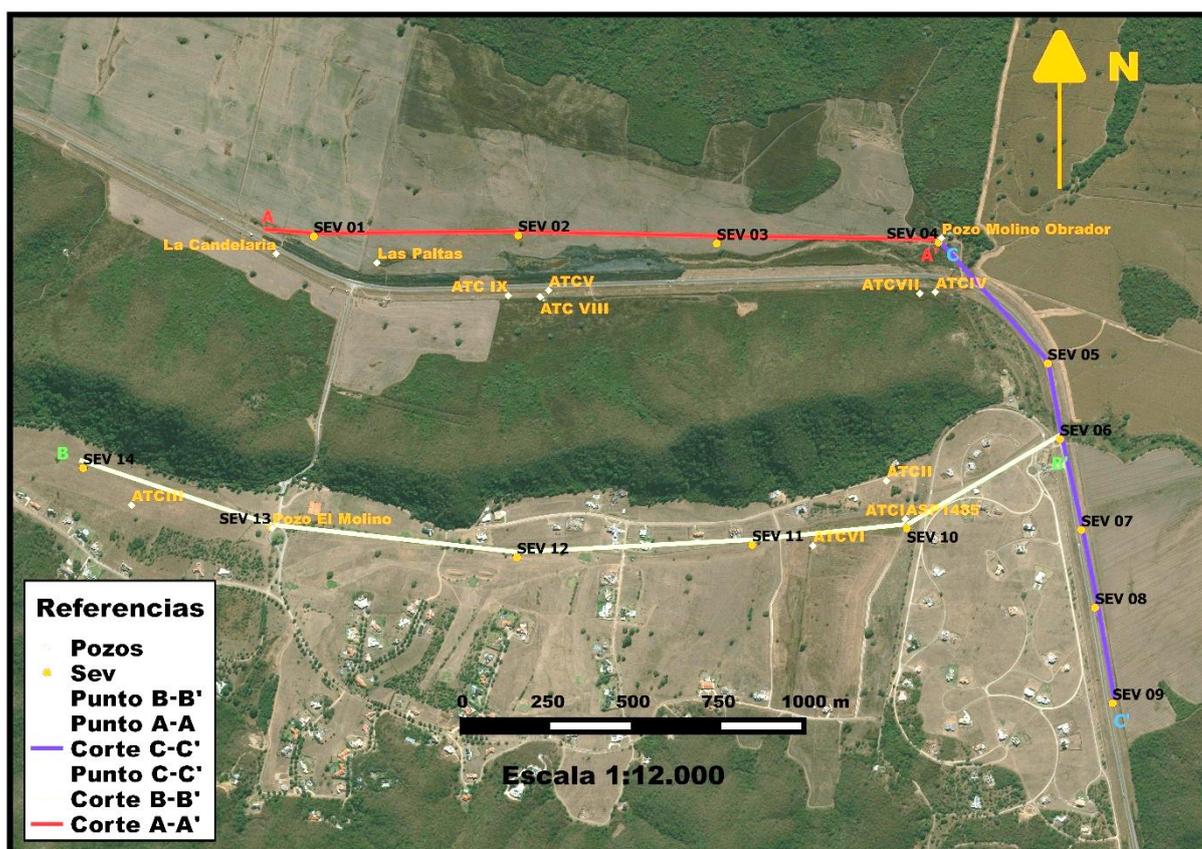


Figura 21: Ubicación de SEV y Pozos que forman parte de los perfiles de correlación en los Valles Intermontanos NNW y Este.

4.4.2 Perfil de Correlación Valle Intermontano Oeste-Este (A-A')

Incluye a los SEV 01, SEV 02, SEV 03, SEV 04, (Fig.22). Se incluye la información de los pozos, Altos de Tres Cerritos VII y ATC VIII. Luego de establecer el modelo más acorde a las condiciones geológicas – geomorfológicas de la zona de estudio, se individualizaron las siguientes unidades:

Zona Resistiva Superior: presenta una potencia de aproximadamente 4 metros a lo largo de todo el perfil. La unidad está compuesta por una a dos electrocapas de diferente espesor y resistividad, señalando así la heterogeneidad de esta zona. Esta unidad está compuesta por horizontes de pequeño espesor y resistividad variable, pero que carecen de interés desde el punto de vista hidrogeológico.

Jorge Christian Vega Filippin

M.U.N:272

Zona de Interés Hidrogeológico: Se detecta en todos los SEV. Esta unidad se caracteriza por presentar valores moderados de resistividad (11 a 22 Ohm.m). La base, identificada en todos los sondeos, se encuentra a una profundidad de 94 metros aproximadamente en el SEV 01, 91 metros en el SEV 02, 48 metros en el SEV 03, 70 metros aproximadamente en el SEV 04. De acuerdo a la respuesta eléctrica y a los datos de perforaciones con legajos técnicos, esta unidad está conformada por una secuencia de sedimentitas cuaternarias alternante de niveles de rodados, gravas de todos los tamaños, gravas arenosas, arenas y arenas gravosas, con pequeñas intercalaciones de bancos de arcillas limosas y arcillas arenosas. En la actualidad, esta unidad es la que ponen en producción los pozos profundos de la zona de estudio y alrededores. El Pozo ATC VIII, ha puesto en producción niveles acuíferos entre los 22 y 74 metros, con agua de baja mineralización ($439 \mu\text{S}/\text{cm}$), apta para el consumo humano y los demás usos.

Zona Resistiva (Basamento): Esta unidad es detectada en todos los SEV, a una profundidad variable entre los 48 y 94 metros y se caracteriza por una respuesta eléctrica muy característica tanto en las curvas de campo como en los valores de resistividad verdadera, ya que se presentan valores de resistividad de esta unidad varían entre 50 a 118 Ohm.m. De acuerdo a la interpretación, a los valores de resistividad y al entorno geológico, esta unidad se asigna a sedimentitas del basamento hidrogeológico (rocas). Los valores de resistividad de esta unidad varían entre 55 y 133 Ohm.m.

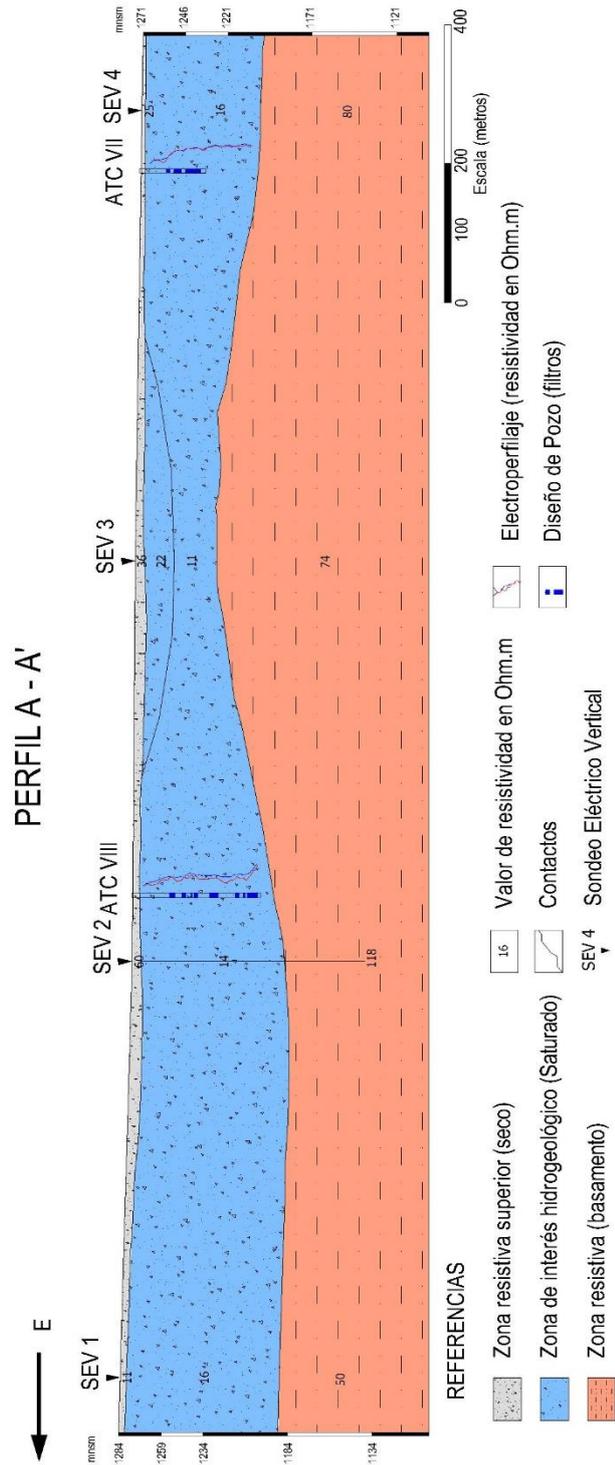


Figura 22: Perfil Geológico A-A' – Geoelectrico Valle Intermontano

4.4.3 Perfil de Correlación Valle Intermontano Oeste-Este (B-B')

Incluye a los SEV 14, SEV 13, SEV 12, SEV 11, SEV 10 y SEV 06, (Fig.23). Se incluye la información de los pozos ATC VI y Pozo ASP 1485, de esta manera se puede observar las variaciones de facies que existen entre los pozos. (Figura 4). Luego de establecer el modelo más acorde a las condiciones geológicas – geomorfológicas de la zona de estudio, se individualizaron las siguientes unidades:

Zona Resistiva Superior: Presenta una potencia de aproximadamente 5 metros a lo largo de todo el perfil. Esta unidad está compuesta por horizontes de pequeño espesor y resistividad variable, pero que carecen de interés desde el punto de vista hidrogeológico.

Zona de Interés Hidrogeológico: está representada por una electrocapa con valores de resistividad bajos (entre 12,5 y 18 Ohm.m) que se extiende hasta una profundidad variable de 32 metros en el SEV 13 hasta 90 metros aproximadamente en el SEV 10, produciéndose una progresiva disminución del espesor de Oeste a Este. Se interpreta que esta unidad involucra a secuencias sedimentarias modernas saturadas y a la parte superior del basamento rocoso alterado. Se puede afirmar con cierto grado de certeza que la prospección geoeléctrica no "diferencia" ambas unidades debido al escaso a nulo contraste entre éstas.

También es cierto que hasta el presente se carece de conocimiento acerca de las potenciales propiedades acuíferas del basamento rocoso alterado. Expresado así, esta unidad eléctrica podría incluir dos capas con propiedades diferentes desde el punto de vista del almacenamiento económico del agua subterránea.

Zona Resistiva (Basamento): aflora en todo el entorno del pequeño valle fluvial que ocupa la Finca La Candelaria y presenta una configuración de paleorelieve errática y variable. Esta unidad se detecta a profundidades entre 34 y 90 metros aproximadamente y está compuesta por facies de areniscas y pelitas intensamente fracturadas. Una característica singular es que el valor de resistividad de las rocas que conforman el basamento en este perfil muestran, en general, un incremento de Este a Oeste (39 a 500 Ohm.m), lo que puede interpretarse como un enriquecimiento en la proporción de arenas hacia el naciente o bien que en el sector oriental predominan facies arcillosas y en el occidental facies arenosas. Con estos valores de resistividad (relativamente bajos) se entiende que sí las rocas del basamento se encuentran fracturadas y con agua en sus aperturas, la resistividad será aún más baja.

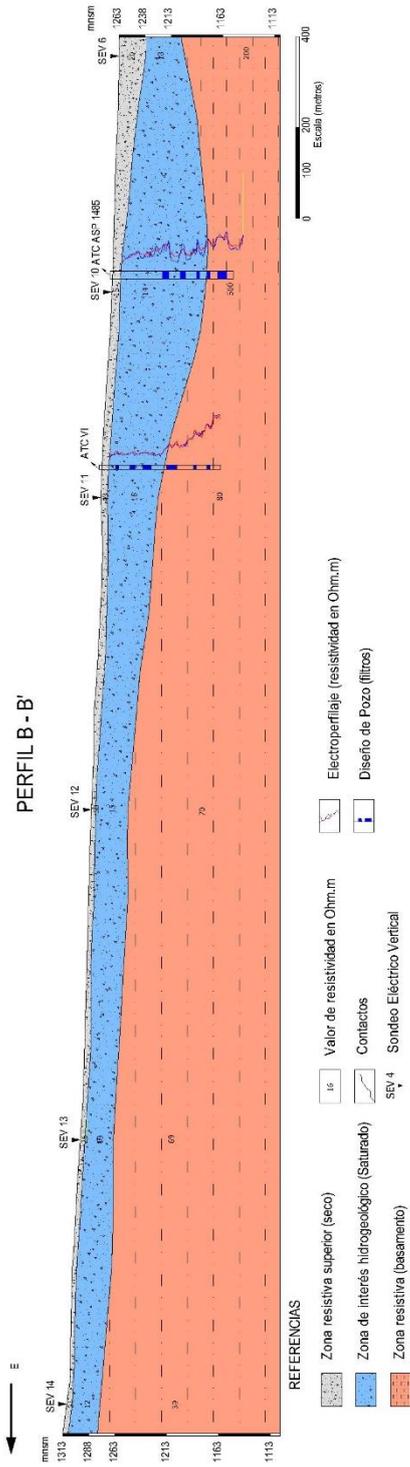


Figura 23: Perfil Geológico B-B' – Geoelectrico Valle Intermontano

4.4.4 Perfil de Correlación Valle Intermontano Nornoroeste (C-C')

Incluye a los SEV 04, SEV 05, SEV 06, SEV 07, SEV 08 y SEV 09, (Fig.24). Se incluye la información del pozo ATC VI. (Figura 4). Luego de establecer el modelo más acorde a las condiciones geológicas – geomorfológicas de la zona de estudio, se individualizaron las siguientes unidades:

Zona Resistiva Superior: Presenta una mayor potencia de 26 metros sobre el SEV 06 a lo largo de todo el perfil los espesores son variables reduciéndose en los SEV 04, 2 metros y en el SEV 07, 1.2 metros. Esta unidad está compuesta por horizontes de pequeño espesor y resistividad variable, pero que carecen de interés desde el punto de vista hidrogeológico

Zona de Interés Hidrogeológico: Está representada por una electrocapa con valores de resistividad bajos (entre 13 y 25 Ohm.m) que se extiende hasta una profundidad variable de 70 metros en el SEV 04 hasta 60 metros aproximadamente en el SEV 05, 60 metros en el SEV 06, 70 metros en el SEV 07, produciéndose una desaparición del espesor de interés saturado desde el SEV 08 al SEV 09. La capa saturada involucra a secuencias sedimentarias modernas gravas de todos los tamaños, gravas arenosas, arenas y arenas gravosas, con pequeñas intercalaciones de bancos de arcillas limosas y arcillas arenosas.

Zona Resistiva (Basamento): está presente e identificado a lo largo de todo el perfil esta unidad se detecta a profundidades entre 11 y 70 metros aproximadamente y está compuesta por facies de areniscas y pelitas intensamente fracturadas. Una característica singular es que el valor de resistividad de las rocas que conforman el basamento en este perfil muestran, valores muy resistivos en los SEV 08 y 09 entre 350 y 400 Ohm.m, disminuyendo los valores entre los SEV 04 al 07, con valores entre 60 a 200 Ohm.m.

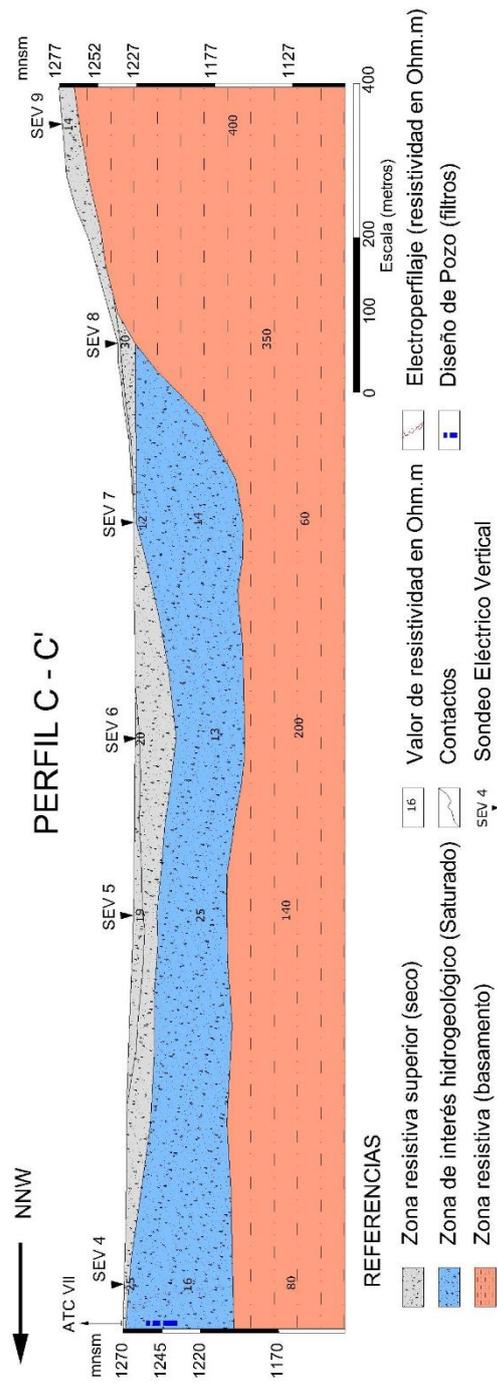


Figura 24: Perfil Geológico C-C' – Geoelectrico Valle Intermontano

4.5 RELEVAMIENTOS DE POZOS

Durante los trabajos de campaña se efectuó el relevamiento y ubicación con GPS portátil de los pozos de agua existentes en la zona de estudio, (Fig.25).

De los pozos existentes (excavados y perforados), se utilizaron solo aquellos que presentan la mayor calidad de información (perfil litológico, perfilajes geofísicos, etc.,) para efectuar correlaciones e integrarlos con la información geofísica, tabla 4.

Los pozos relevados alcanzaron profundidades entre 18 y 150 metros, con diseños (ubicación de filtros), muy variables.

El análisis del cutting proveniente de las perforaciones que han sido efectuadas con metodología hidrogeológica correcta, señalan que los sedimentos asignados al cuaternario en la zona de estudio están conformados por secuencias heterométricas de rodados medianos a gruesos, gravas muy gruesa, gruesa y fina, arenas sabulíticas, arena mediana a fina y niveles de limos y arcillas.

El Pozo El Molino, es un pozo excavado de 1,10 metros de diámetro que alcanzó una profundidad de 18 metros. No se conoce la secuencia litológica atravesada por esta obra, ni el año en que fue construido, aunque por información verbal de los lugareños, se supone que existe a una fecha anterior al año 2001.

El pozo ATC I (Altos de Tres Cerritos), fue construido en el año 2002 y presenta un diámetro de 1,50 metros desde + 0,40 hasta los - 9,70 metros de profundidad. Las paredes de este tramo se encuentran revestidos con ladrillos. Entre los 9,70 a 22,0 metros, el pozo tiene un diámetro de 1,10 metros y las paredes se encuentran revestidas con hormigón. A partir de allí se excavo en igual diámetro, hasta los 25 metros. Este tramo (22 - 25 metros) por ser el intervalo de interés hidrogeológico fue revestido con cañería ranurada de chapa galvanizada de 0,63 metros de diámetro y el espacio entre esta y la pared del pozo fue relleno con grava seleccionada de 4 a 6 mm de diámetro. El perfil litológico está conformado por arcillas y arcilla limosa parda rojiza a marrón claro entre los 0,0 hasta los 6,10 metros de profundidad; luego aparecen arena muy fina a limo arenoso, con abundante matriz arcillosa, pardo rojizo claro hasta los 16,45 metros. Infrayaciendo se encuentran niveles de grava fina a gruesa, subangulosa a subredondeada, de pelitas gris verdosa a verde, con abundante matriz arcillosa, compacta, pardo rojizo a marrón cuya base se asienta en los 20,45 metros de profundidad. Por debajo y hasta los 23,15 metros se encuentra una capa de arcilla marrón claro, plástica. A partir de los 23,15 y hasta los 25,00 metros de profundidad aparecen gravas medianas a finas, subangulosa a subredondeada de cuarcitas y ortocuarzitas, varicolor, con abundante matriz de arenas gruesas a muy gruesas de igual color y composición, conformando el nivel acuífero explotado.

El Pozo valle Escondido (ATC VI) fue realizado en el año 2004 y alcanzó una profundidad final de 117 metros. Entre los 0,0 y 60,00 metros se describe la presencia de gravas medianas a gruesas, con abundante matriz arenosa e intercalaciones de pequeños niveles de limos,

presentando en conjunto un color pardo grisáceo a pardo rojizo claro. Entre 60,00 y 84,00 metros se presentan metamorfitas de bajo grado, color marrón claro a pardo grisáceo, muy

Jorge Christian Vega Filippin

M.U.N:272

alteradas. Entre los 84,00 y 109,00 metros se encuentran facies de metamorfitas de bajo grado, similares a las suprayacentes, pero con menor grado de alteración y fracturación. Entre 109,00 y 117,00 metros se encuentran metamorfitas grises, duras y compactas. De acuerdo a las descripciones efectuadas en este pozo y a los datos de electroperfilajes, a partir de los 60,00 metros de profundidad, se atravesaron unidades rocosas pertenecientes a la Formación Puncoviscana.

El pozo ATC VII con una profundidad de 60 m, construido en el año 2005, la litología encontrada fue de 0,0 a 14,0 metros arcilla roja, entre los 14 a 22 metros grava mediana, grava fina a arena fina, entre los 22 a 24 metros Arcilla pardo amarillenta, entre los 24 a 32 metros grava mediana a fina, entre los 32 a 35 metros intercalación de gravilla fina arcillosa, entre los 35 a 60 metros metamorfitas diaclasadas.

El Pozo ATC VIII fue construido en el año 2005, habiéndose alcanzado una profundidad final de 74,54 metros. El perfil litológico está conformado por arcillas y arcilla limosa, marrón claro, entre los 0,0 y los 21,50 metros de profundidad; luego aparecen gravas finas con arenas muy gruesas a sabulíticas, pardo rojizas hasta los 25,0 metros. A partir de allí y hasta los 29,50 metros se encuentran arcillas limosas con presencia de gravas y arenas. Entre los 29,50 a 31,50 metros se presenta un paquete de gravas muy finas y arenas muy gruesas, con matriz limoarcillosa. A continuación, se presentan gravas muy finas y arenas, con abundante matriz arcillosa, hasta los 34,0 metros. La secuencia continua con gravas muy finas, subangulosas, con escasa matriz areno arcillosa, pardo claro, hasta los 35,5 metros de profundidad. Entre los 35,5 y 36,5 se encuentra un nivel arcilloso. Luego, y hasta los 38,5 metros se encuentran gravas finas con arenas muy gruesas. Entre los 38,5 y 45,5 metros, se encuentran arcillas, pardas claro y grava fina con abundante matriz arcillosa. Entre los 45,5 y 52,0 metros aparecen gravas finas con arenas muy gruesas, sabulíticas, con matriz areno limosa. Entre 52,0 y 61,5 metros se presenta una capa compuesta por alternancias de arenas arcillosas, arenas y gravas con matriz arcillosa. Entre 61,5 y 62,5 metros, se presenta un nivel de grava fina a muy fina, con matriz arenosa. Entre 62,5 y 65,5 metros se encuentran arenas, gravas y limos intercalados, con abundante matriz arcillosa. Luego, y hasta los 66,5 metros, grava fina a muy fina, en parte arenosa. Entre los 66,5 y 67,5 metros aparece un nivel arcilloso, pardo claro. Por último, entre los 67,5 y 76,0 metros se encuentra un nivel de sabulitas a grava muy fina, en parte arenosa, con escasa matriz arcillosa.

El Pozo ATC IX (2015), habiéndose alcanzado una profundidad final de 104 metros. El perfil litológico está conformado por arcillas gris oscuro y pardas rojizo, entre los 0,0 y 2,0 metros de profundidad; luego se encuentra una secuencia de arenas gruesas a arenas sabulíticas, pardo rojizas, conformadas por clastos de lutitas, cuarcitas y cuarzo, hasta los 10,00 metros de profundidad; a continuación se encuentran facies de arenas finas y medianas, con matriz de arena muy fina a limosa, pardo rojiza a gris verdoso (por presencia de lutitas de la Formación Puncoviscana) que se extiende hasta los 19,00 metros de profundidad.

A continuación, se encuentra un potente paquete de arenas gruesas, en parte arenas sabulíticas, color pardo rojizo oscuro cuya base se localiza en los 40,00 metros de profundidad. Entre los 40,00 y 86,00 metros se presentan paquetes alternantes de arenas finas y arenas medianas, conformadas por clastos de cuarcitas y cuarzo principalmente, con

abundante matriz de arena muy fina y, en ocasiones, arena limosa, pardo rojizo a gris verdosos cuando dominan fracciones de lutitas. Entre los 85,00 y 104,00 metros de profundidad se detectan facies pertenecientes al basamento ordovícico, conformado por lutitas y areniscas, pardo rojizas claras y pardo verdoso claro, con elevado grado de alteración.

El Pozo Finca Las Paltas, alcanzó una profundidad de exploración de 112 metros y se entubó hasta 108 metros; poniendo en producción niveles comprendidos entre 56-60 metros; 62,8 – 64,8 metros; 71 – 73 metros; 79 – 82 metros; 89 – 93 metros; 95 – 98 metros y 101 – 103 metros. En el legajo de esta obra no se presenta el perfil litológico de las secuencias atravesadas, solamente un electroperfilaje.

El Pozo Finca La Candelaria, alcanzó una profundidad de exploración de 100 metros y se entubó hasta los 99 metros; poniendo en producción niveles comprendidos entre 63 – 67 metros; 69 – 72 metros, 73 – 78 metros; 81 – 85 metros y 88 – 93 metros. El perfil litológico señala la alternancia de niveles de arcillas, arcillas limosas y arenas arcillosas, con pequeños niveles de gravas y arenas con matriz arcillosa y limo arcilloso.

El Pozo ASP 1491 (La Lagunilla) alcanzó una profundidad final de investigación de 150 metros. El perfil litológico de esta obra señala la presencia de una potente capa de arcillas, limos arcillosos y arenas arcillosas, pardo rojizas claras entre los 0,0 y 26,00 metros de profundidad. Entre los 26,00 y 36,00 metros se presenta un paquete de arenas gruesas a muy gruesas, en parte arenas sabulíticas, subredondeadas a subangulosas, color pardo rojizo claro. Por debajo y entre los 36,00 y 43,00 metros se localiza un nivel de arcillas y arcillas limosas, pardo rojizo claro. Entre los 43,00 y 54,00 metros se presenta un nivel de arenas muy finas, con abundante matriz limosa y limoarcillosa, pardo rojizo. A continuación, se encuentra un potente paquete de arenas muy gruesas, en parte arenas sabulíticas, con gravas muy finas subordinada y matriz de arena fina a arena limosa, pardo rojizas a pardo grisáceo, con clastos individuales de pelitas de la Formación Puncoviscana y cuarcitas, ortocuarzitas y cuarzo blanquecino del ordovícico, que se extiende entre los 54,00 y 115,00 metros de profundidad. Entre los 115,00 y 122,00 metros se encuentra un nivel de arcillas pardo rojizo a gris rojizo, plásticas. Infrayaciendo, entre los 122,00 y 132,00 metros aparece una capa de arenas muy gruesas, en parte arenas sabulíticas y gravas muy finas, conformadas casi exclusivamente por clastos de cuarcitas y ortocuarzitas pardo rojizo claro a rosado, muy probablemente pertenecientes a las secuencias ordovícicas que afloran en el entorno. Entre los 132,00 y 150,00 metros se encuentra un potente paquete de arcillas, pardo rojizas claro y pardo grisáceo, plásticas.

El Pozo ASP 1397 (Cementerio Parque) alcanzó una profundidad final de investigación de 100 metros. El perfil litológico de esta obra señala la presencia de una potente capa de arcillas, limos arcillosos y arenas arcillosas, pardo rojizas claras entre los 0,0 y 11,00 metros de

profundidad. Entre los 11,00 y 41,00 metros se presenta un nivel de arenas gruesas a sabulíticas, con abundante matriz limosa y limoarcillosa, pardo rojizo. Entre los 41,00 y 54,00 metros se encuentra un nivel de arcillas pardo rojizo a gris rojizo, plásticas. Infrayaciendo, entre los 54,00 y 69,00 metros aparece una capa de arenas muy gruesas, en parte arenas sabulíticas y gravas muy finas, conformadas casi exclusivamente por clastos de cuarcitas y ortocuarzitas pardo rojizo claro a rosado, muy probablemente pertenecientes a las secuencias

ordovícicas que afloran en el entorno. Entre los 69,00 y 74,00 metros se encuentra un paquete de arcillas, pardo rojizas claro y pardo grisáceo, plásticas. Entre 74,00 y 100,00 metros se describen arenas muy gruesas, en parte arenas sabulíticas y gravas muy finas, conformadas casi exclusivamente por clastos de cuarcitas y ortocuarcitas, pardo rojizo claro.

El pozo ASP1485 con una profundidad final de 117 metros fue construido en el año 1997. El perfil litológico descrito en forma resumida de 0,0 a 4,0 metros Suelo limo arcilloso. Entre los 4,0 a 10 metros Arcilla, con grava fina, siguiendo la secuencia entre los 10 a 16 metros aparece una grava fina, con matriz areno limosa. Entre los 16 a 36 metros, un tamaño de grava gruesa, con intercalaciones de arcilla limosa. Entre los 36 a 42 metros, una grava gruesa, con matriz arcillosa. Entre los 42 a 48 metros la grava tiene una matriz limosa. Entre los 48 a 56 metros el tamaño de la grava es mediana, con matriz arenosa limosa. Entre los 56 a 65 metros, aparece una arcilla rojiza, con grava. Entre los 65 a 71 metros, existe una grava fina, grisácea, con matriz arenosa. Entre los 71 a 76 metros, grava con matriz arcillosa. Entre los 76 a 85 metros, grava con matriz arenosa. Entre los 85 a 100 metros, grava arcillosa. Entre los 100 a 112 metros grava gruesa, con matriz arenosa mediana. Entre los 112 a 128 grava, matriz arcillosa.

Tabla 4: Características constructivas de los pozos existentes y censados del área de estudio.

Nombre	Año	Profundidad (m)	Nivel Estático (m.b.b.p)	Nivel Dinámico (m.b.b.p)	Filtros (m)	Caudal (m ³ /h)	Caudal Específico (m ³ /h/m)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)
Pozo El Molino		18	4,03	5,423	14-18	20,60	14,78	527
ATC I	2002	25	6,68	22,26	22,0-25,0	18,60	1,19	347
ATC VIII	2005	74,50	5,04	22,36	22,0-25,0 29,5-31,5 34,5-35,5 36,5-38,5 45,5-50,5 61,0-63,0 65,5-66,5 68,0-74,0	33,10	1,91	439
ATC IX	2015	104	8,62	35,50	20,0-24,0 26,0-28,0 30,0-34,0 36,0-38,0 44,0-46,0 50,0-52,0 54,0-56,0 62,0-64,0 68,0-70,0 72,0-78,0	42,49	1,58	440

Hidrogeología de la zona Norte del Valle de Lerma, Departamento Capital, Provincia de Salta.

Las Paltas	2012	112	2,5	43,81	56,0- 60,0 62,8- 64,8 71,0- 73,0 79,0- 82,0 89,0- 93,0 95,0- 98,0 101- 103	95,0	2,3	365
La Candelaria	2013	100	5,9	17,0	63,0- 67,0 69,0- 72,0 73,0- 78,0 81,0- 85,0 88,0- 93,0	84,0	7,56	430
ASP 1491 La Lagunilla	1998	150	30,40	s/d	76,0- 86,0 91,0- 98,0 101- 105 108- 115 123- 132	s/d	s/d	s/d
ASP 1397 Cementerio Parque	1991	100	17,0	s/d	75,0- 96,0	s/d	s/d	s/d
ASP 1485 Valle Escondido	2004	117	14,8	97,0	49,0- 55,0 66,0- 71,0 82,0- 85,0 92,0- 95,0 112- 111	10	0,116	468
ATC VII	2005	60	3,90	11,36	14,0- 16,0 18,0- 22,0 24,0- 32,0	8,3	1,11	478
ATC VI	2004	117	14,80	88	15,0- 20,0 30,0- 35,0 42,0- 50,0 65,0- 75,0 91,0- 94,0 104- 107	4,2	0,05	s/d

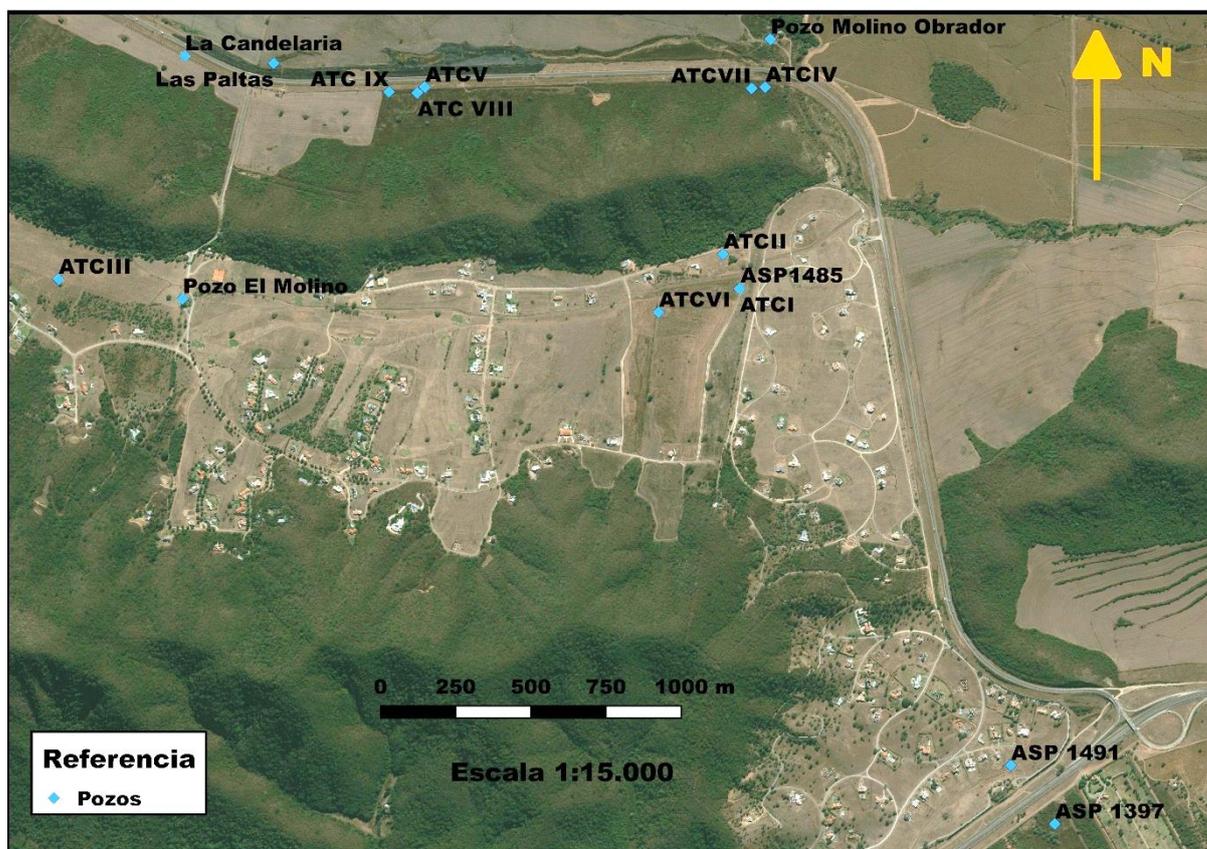


Figura 25: Mapa de ubicación de pozos en la zona de estudio.

4.6 CORRELACION HIDROESTRATIGRAFICAS

Con el análisis e interpretación de los legajos técnicos de los pozos, los cuales en cada uno de ellos cuenta con descripción litológica, parámetros hidráulicos y con los SEV realizados, se pudo separar conceptualmente dos acuíferos uno superior y otro inferior separado ambos por una capa de espesor variable de arcilla, la cual podría dar a ambos acuíferos un comportamiento de confinado a semiconfinado. Con este criterio y viendo los datos hidráulicos de los pozos se identificó aquellos pozos que captan estos acuíferos para poder analizar la repuesta y diferencia hidráulica entre ambos.

4.6.1 Secciones estratigráficas

4.6.2 Pozos ASP 1485, ATC I y VI

Como se puede observar en la (Fig.26), en la parte superior se presenta una capa de arcilla de aproximadamente 10 metros de espesor presente en los tres pozos, infrayacente a esta formación una secuencia de arenas y gravas saturadas, denominado acuífero superior, representado por el pozo ATCI, que explota este nivel, con sus características hidráulicas obtenidas en el ensayo de bombeo. Ya en los pozos ASP1485 y ATC VI estos captan los dos acuíferos tanto el superior como el inferior, este último está representado por una alternancia de gravas y arenas, separada del acuífero superior por una capa de arcilla de un espesor

mayor en el pozo ATC VI con 15 metros. En los pozos ASP 1485 y ATC VI, debido a su mayor profundidad interceptan el basamento ordovícico.

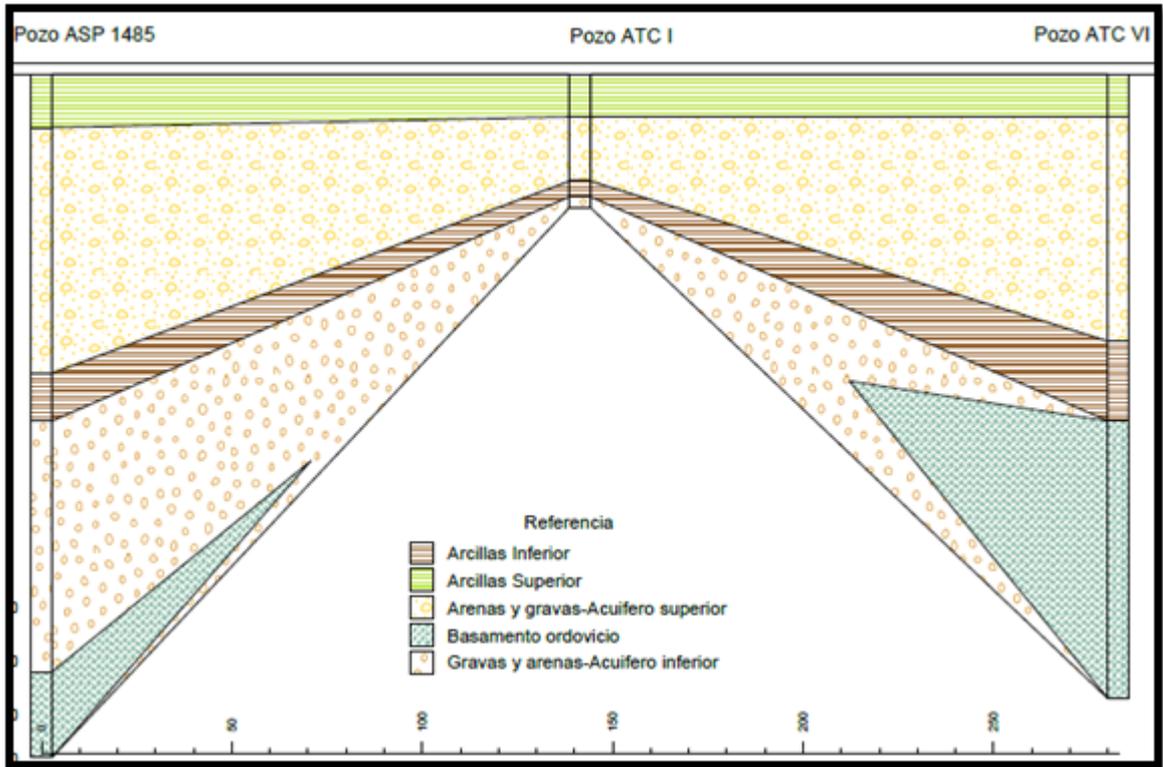


Figura 26: Correlación pozos ASP1485, ATC I y ATC VI.

4.6.3 Pozos ATC VII, VIII, IX y La Candelaria

En esta secuencia se observa la arcilla superior, con un espesor de 30 metros en el pozo La Candelaria, reduciéndose en el pozo ATC IX con un espesor de 2 metros, (Fig.27).

La secuencia del acuífero superior también es captada por todos los pozos excepto La Candelaria, que también presenta un mayor espesor de arcilla inferior en comparación con el resto de los pozos.

El acuífero inferior presenta mayor desarrollo en el pozo ATC IX, también siendo este adonde se identificó en las descripciones litológicas la intercepción con el basamento ordovícico.

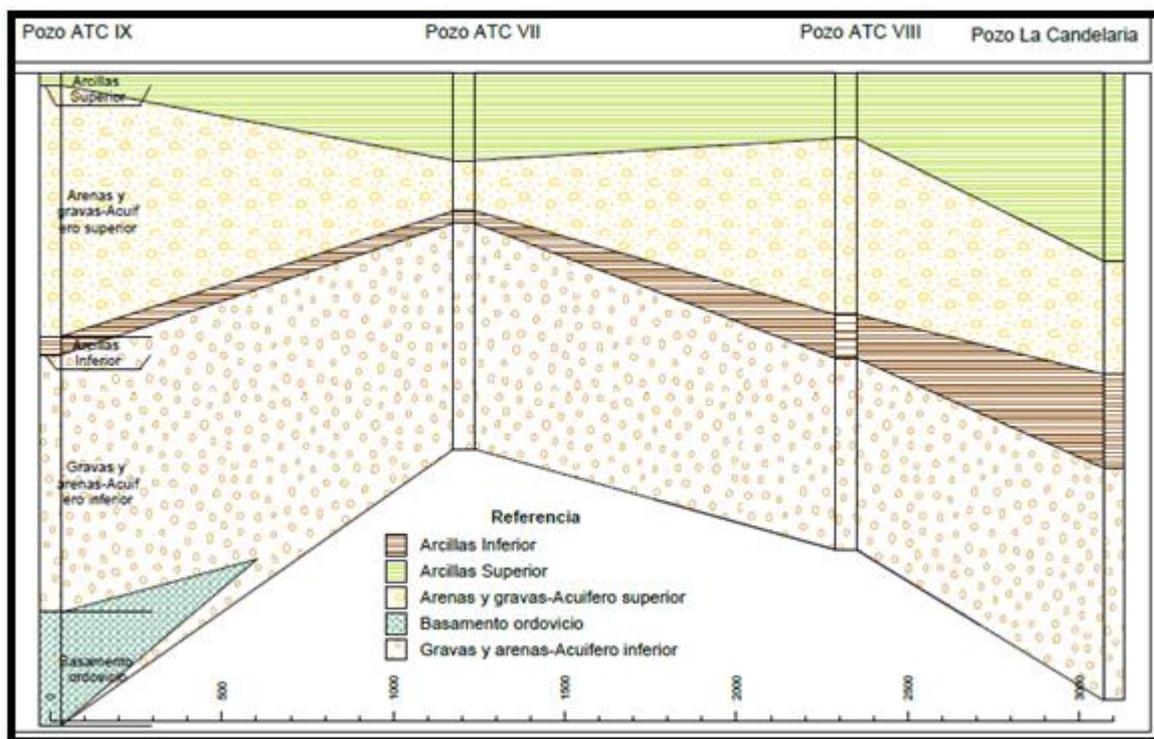


Figura 27: Correlación pozos ATC VII, VIII, IX, La Candelaria.

4.7 AMBIENTE HIDRODINAMICO

La caracterización hidrogeológica regional de la zona de estudio se realizó teniendo en cuenta que un *ambiente hidrogeológico* es un modelo conceptual de los parámetros morfológicos, geológicos y climáticos que condicionan la existencia y el funcionamiento de una unidad hidrogeológica. Por lo tanto, la caracterización de una unidad hidrogeológica abarca al conjunto de factores externos e internos, que gobiernan la existencia de un reservorio de agua subterránea y que condicionan las características hidráulicas de los acuíferos involucrados y los aspectos físicos químicos sobresalientes de las aguas subterráneas (García y Rocha, 2007).

El marco geológico imperante en la zona de estudio, permite definir dos posibles medios de circulación:

1. Medio de Circulación Superior o Acuífero Superior: corresponde a un medio de circulación poroso, conformado por los sedimentos cuaternarios resultantes de la erosión de las rocas preexistentes y que fueron transportados y depositados en las zonas deprimidas. Este medio de circulación se encuentra inconsolidado y/o ligeramente cementado, conservando en mayor o menor medida las características texturales originales. Se caracteriza por poseer poco espesor y corresponde a las Zona Superior y de Interés Hidrogeológico.

2. Medio de Circulación Inferior o Acuífero Inferior: corresponde a un medio de circulación fracturado conformado por las sedimentitas muy alteradas y fracturadas que constituyen el basamento del área de estudio; este medio da origen a un reservorio de agua subterránea por porosidad secundaria (supercapilares). Las fracturas y diaclasas generadas pueden estar interconectadas o no, de allí su importancia hidrogeológica. La fracturación y diaclasamiento

Jorge Christian Vega Filippin

M.U.N:272

de los cuerpos rocosos, en general, dan origen a un aumento de la porosidad y permeabilidad, siempre y cuando el sistema y tipo de fracturas se encuentren abiertos. Una característica sobresaliente que presentan los reservorios en los sistemas fracturados es que normalmente el agua que ocupa las aberturas, configura una superficie piezométrica discontinua. Este medio de circulación corresponde al Basamento Hidrogeológico Alterado.

Por debajo del Medio de Circulación Inferior o Acuífero Inferior se desarrolla el Basamento Hidrogeológico, esta unidad presenta una configuración de paleorelieve errática y variable, está compuesta por facies de areniscas y pelitas metamorfizadas con moderado a bajo grado de fracturación; estas rocas podrían comportarse como acuífugos, es decir, como medios que no almacenan ni transmiten agua.

4.8 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL RESERVORIO

El análisis de las propiedades hidráulicas del reservorio se efectúa a partir de datos de ensayos de bombeo.

4.8.1 Acuífero Superior

El pozo ATC I, capta este acuífero, sus parámetros hidráulicos son, tabla 5 y 6:

El ensayo de bombeo escalonado se realizó con tres caudales constantes en forma creciente hasta lograr la estabilización de los niveles para cada caudal y de esta forma se logró eliminar los efectos del pozo de gran diámetro (acumulación de agua dentro de la estructura del pozo).

Nivel Estático (metros)	Caudal (m ³ /h)	Nivel Dinámico (metros)	Tiempo de bombeo (minutos)	Depresión final (metros)	Caudal específico (m ³ /h/m)
6,68	-	-	-	-	-
	5,048	9,67	1440	2,99	1,69
	10,224	14,12	1440	7,44	1,38
	18,60	22,26	1440	15,58	1,19

Tabla 5: Depresiones finales y caudal específico para el ensayo escalonado.

Con los datos del ensayo escalonado (Fig.28), se procedió a calcular las constantes B, C y n que rigen la ecuación de los descensos (s) en función de los caudales (Q) para un pozo:

$$s = B \cdot Q + C \cdot Q^n$$

s = descensos en metros; B = 0,02313; C = 2,654 10⁻⁵; n = 2; Q = expresado m³/día.

Caudal (m³/h)	5,048	10,224	18,6
Depresión (m)	2,99	7,44	15,58
Pérdidas por acuífero (m)	2,80	5,68	10,33
Pérdidas por pozo (m)	0,39	1,60	5,29
Eficiencia (%)	94	76	66
Caudal específico (m³/h/m)	1,69	1,38	1,19

Tabla 6: Depresiones finales, caudal específico y eficiencia.

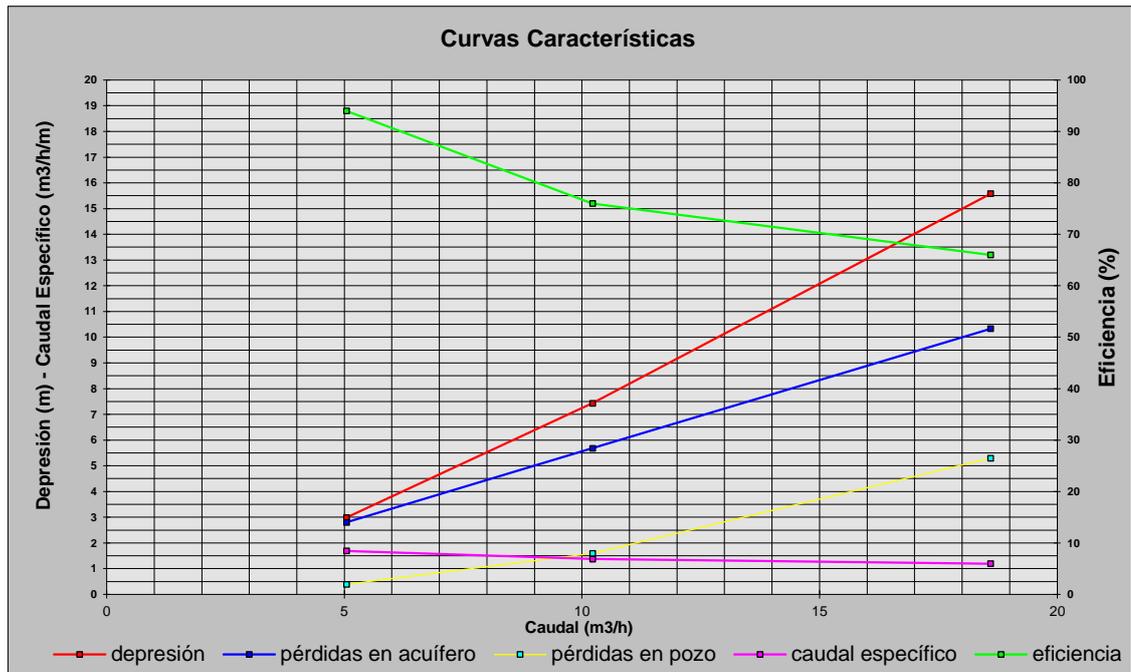


Figura 28: Curvas características del pozo ATC I.

De acuerdo a la ecuación de descensos en el pozo se realizó la curva que permite estimar las depresiones para cualquier caudal, (Fig.29).

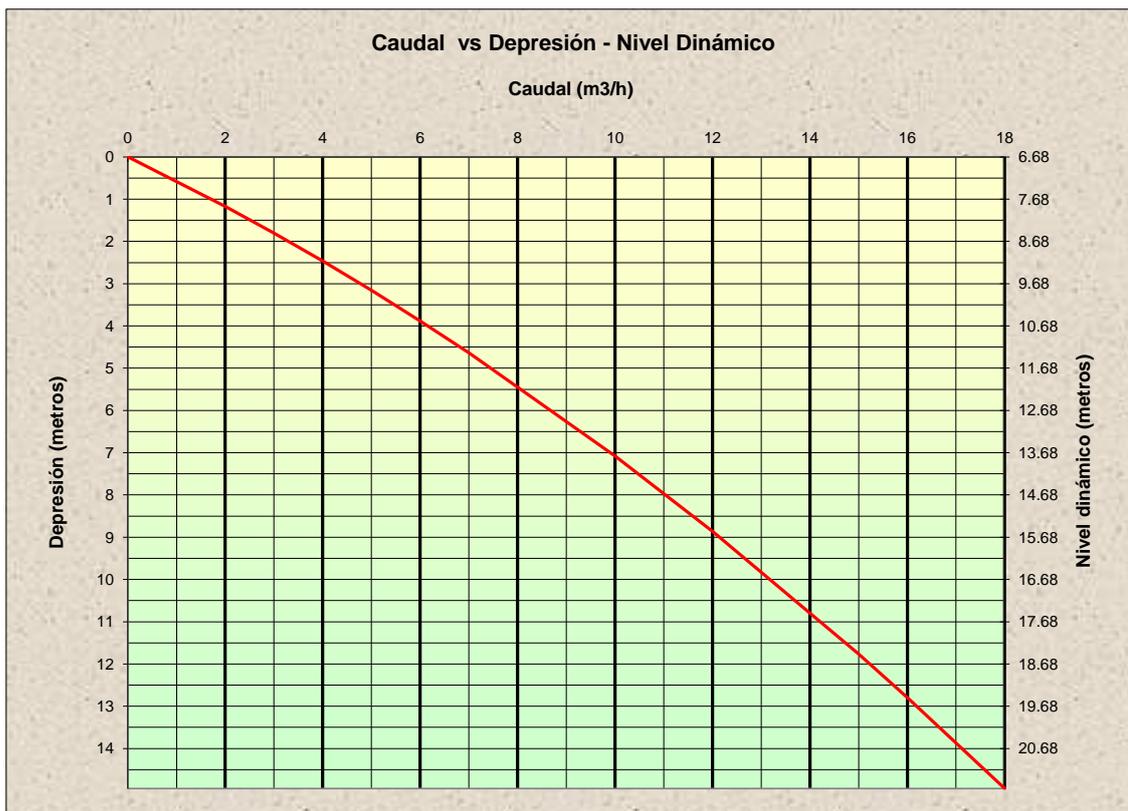


Figura 29: Caudal vs depresión-Nivel dinámico-Pozo ATC I.

En función de esta ecuación, la obra puede brindar un caudal máximo de **18 m³/h**. A continuación, se presenta una tabla 7, donde se aprecia el caudal a extraer y la depresión calculada.

Tabla 7: Caudal proyectado a extraer vs depresión calculada teórica.

Caudal (m³/ h)	Depresión (metros)	Nivel Dinámico (metros)
0	0	6.68
2	1.17	7.85
3	1.80	8.48
4	2.47	9.15
5	3.16	9.84
6	3.88	10.56
7	4.63	11.31
10	7.08	13.76
12	8.86	15.54
15	11.77	18.45
16	12.80	19.48
18	14.95	21.63

4.8.2Acuífero Inferior

El pozo La Candelaria, capta este acuífero, sus parámetros hidráulicos son:

Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

Con los datos del ensayo escalonado (Figs.30 y 31) se procedió a calcular las constantes B, C y n que rigen la ecuación de los descensos (s) en función de los caudales (Q) para un pozo:

$$s = B \cdot Q + C \cdot Q^n$$

s = descensos en metros; B = 0,00514; C = 1,8 10⁻⁷; n = 2; Q = expresado m³/h

Nivel Estático (m)	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
5,9			
Caudal (m ³ /h)	25,00	40,00	84,00
Nivel Dinámico (m)	9,05	11,00	17,00
Depresion (m)	3,15	5,10	11,10
Perdidas Acuífero (m)	3,08	4,93	10,36
Perdidas en Pozo (m)	0,06	0,17	0,73
Eficiencia (%)	97,94	96,75	93,41
Caudal Especifico (m ³ /h/m)	7,937	7,843	7,568
s/Q	0,00525	0,00531	0,00551
Caudal (m ³ /d)	600,00	960,00	2016,00

Figura 30: Depresiones finales y caudal específico y eficiencia.

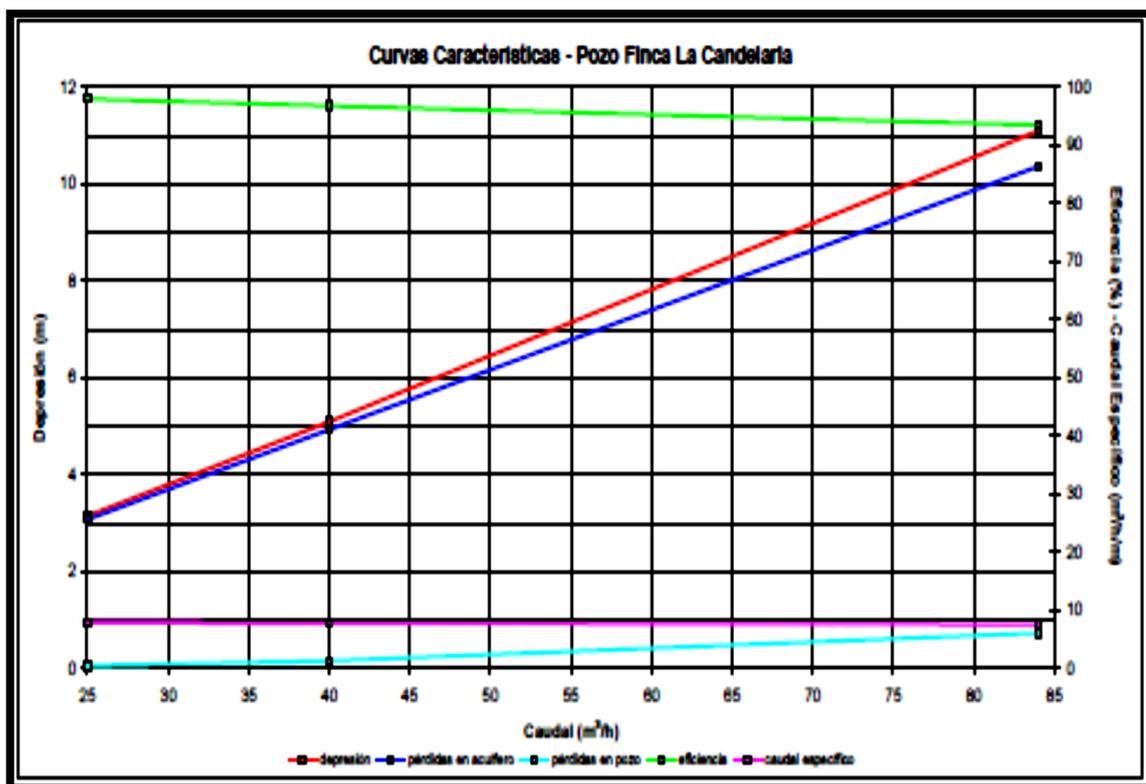


Figura 31: Curvas características del pozo La Candelaria.

De acuerdo a la ecuación de descensos en el pozo, se obtuvo la siguiente curva teórica que permite estimar las depresiones para cualquier caudal (Fig.32).

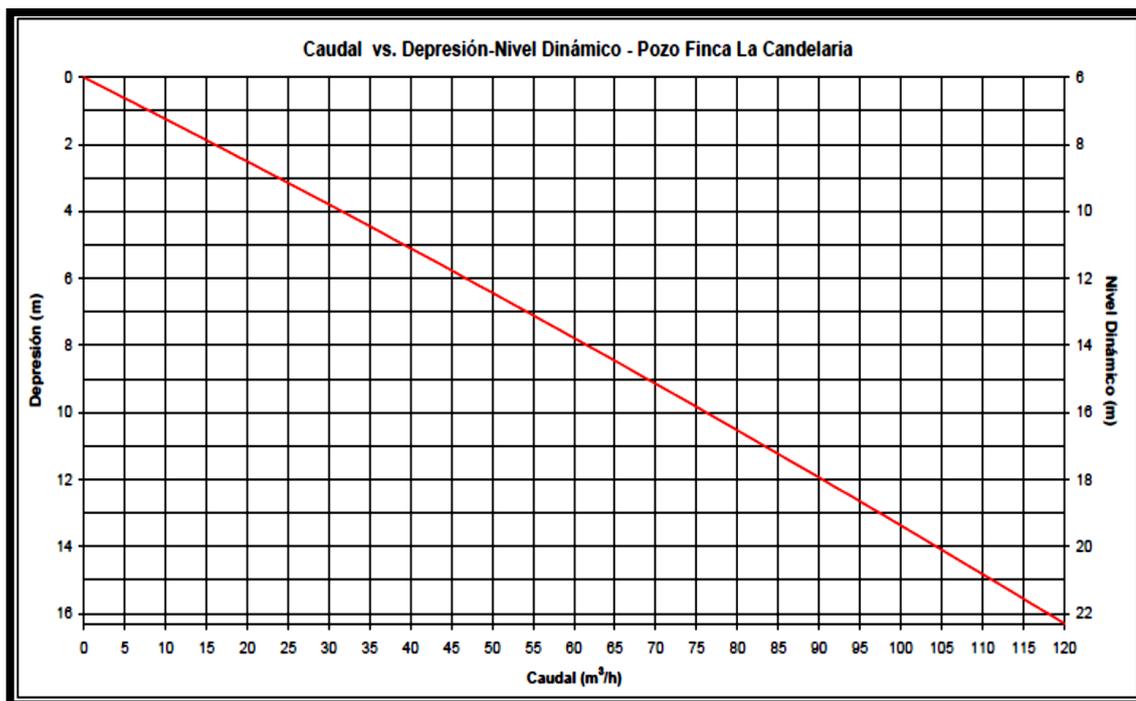


Figura 32: Caudal vs depresión-Nivel dinámico-Pozo La Candelaria

El caudal máximo de explotación fue calculado a partir de la ecuación de descensos teniendo en cuenta la posición de los primeros filtros, diámetro de pozo entubado y rendimiento de bomba. Se determinó una depresión máxima de 13.37 metros, con un nivel dinámico de 19.27 (mbbp) metros bajo boca de pozo.

$$Q_m = 100 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.8.3 Captación de los Acuíferos Superior e Inferior

El pozo ATC IX, capta ambos acuíferos, sus parámetros hidráulicos son Tabla 8:

Se realizó un ensayo de bombeo escalonado midiéndose los niveles en el pozo de bombeo y en el primer pozo que se utilizó como piezómetro, (Fig.33). Los datos de nivel en el pozo de bombeo se midieron con una sonda manual y con un transductor de medición automática cada minuto. En el piezómetro, localizado a una distancia de 5,78 metros del pozo de bombeo, los datos fueron medidos con un transductor automático cada minuto.

Caudal (m³/h)	10.56	25.8	42.49
Nivel (m)	13.235	21.9	35.5
Depresión (m)	4.615	13.28	26.88
Caudal Específico (m³/h/m)	2.2882	1.9428	1.5807
Descenso Específico (m/m³/h)	0.4370	0.5147	0.6326

Tabla 8: Depresiones finales caudal específico para el ensayo escalonado.

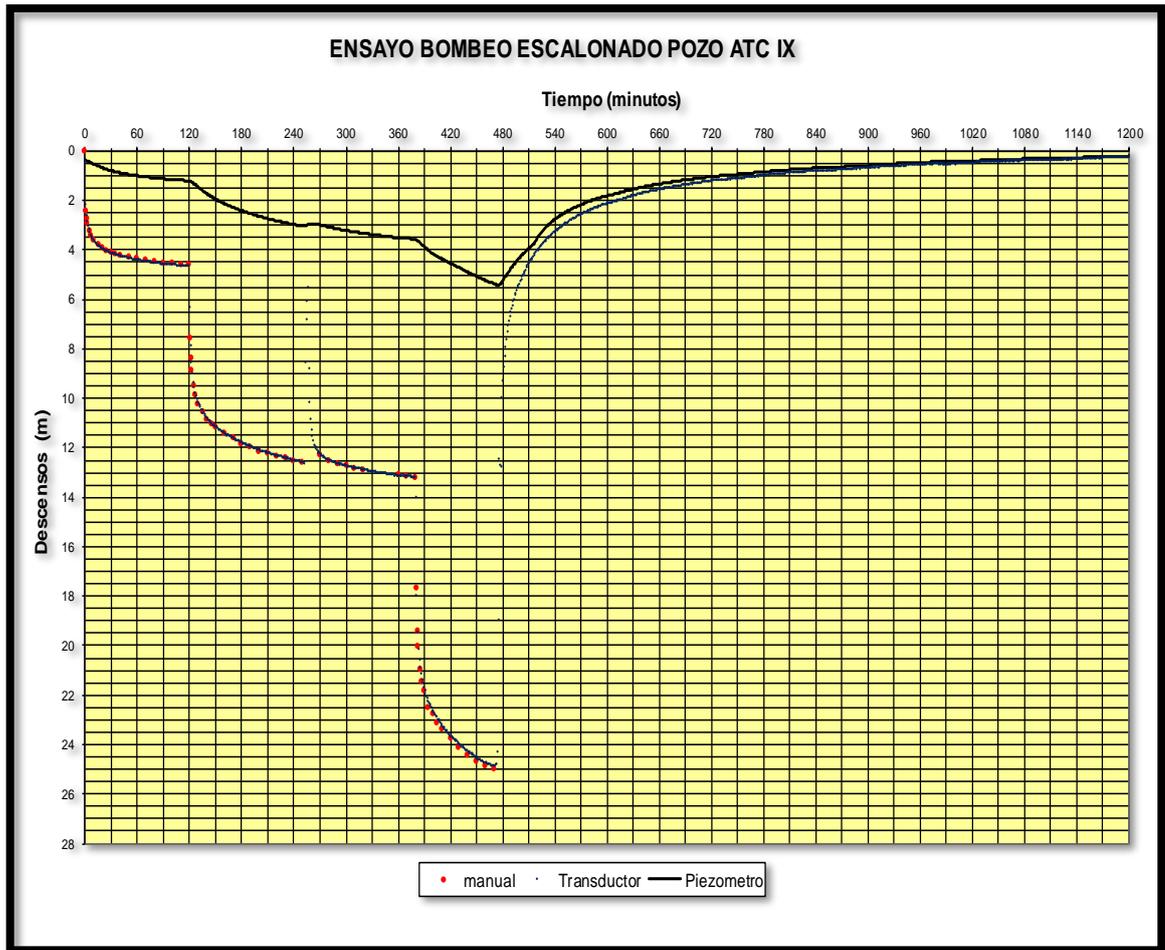


Figura 33: Curva de descensos versus tiempo-Pozo ATC IX

Los datos del ensayo escalonado del pozo de bombeo fueron analizados por los métodos de Jacob o de Hantush-Bierschenk y de Rorabaugh, para calcular la ecuación del pozo, obteniendo una mejor concordancia con el segundo método, indicando que la ecuación no es cuadrática, (Fig. 34). De esta manera se determinó la siguiente expresión para estimar los descensos del pozo para diferentes caudales:

$$s = 0.4098Q + 0.0007748 Q^{2.51}$$

(s= descenso en metros; Q = Caudal en m³/h)

En la tabla 9, se proyecta los caudales proyectados a extraer, versus la depresión teórica que alcanzara el pozo.

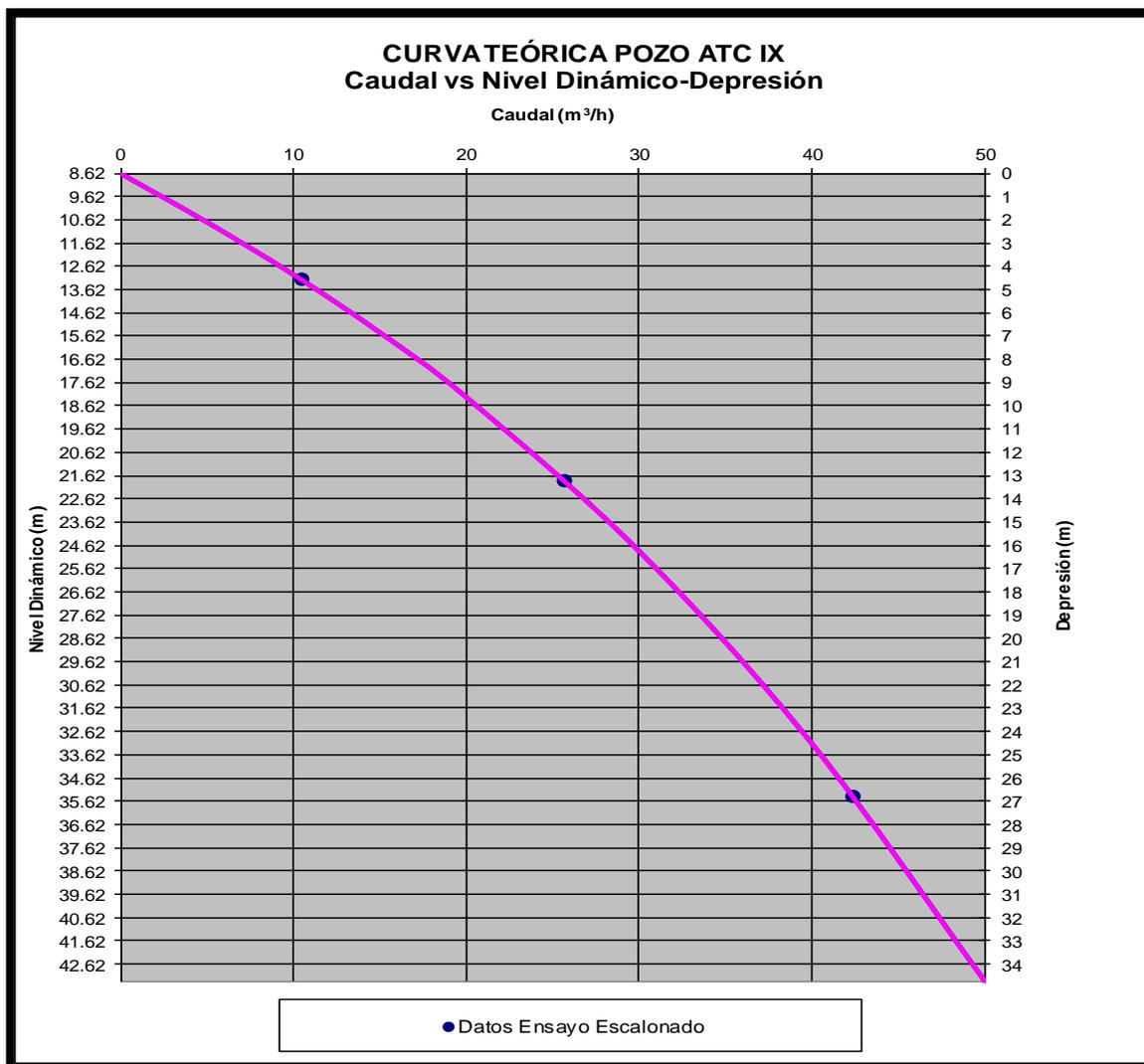


Figura 34: Caudal vs depresión-Nivel dinámico-Pozo ATC IX.

Caudal	Nivel	Depresión	q
(m ³ /h)	(m)	(m)	(m ³ /h/m)
0	8.62	0	...
5	10.71	2.09	2.39
10	12.97	4.35	2.30
15	15.46	6.84	2.19
20	18.24	9.62	2.08
30	24.87	16.25	1.85
40	33.15	24.53	1.63
50	43.35	34.73	1.44

Tabla 9: Caudal proyectado a extraer vs depresión calculada teórica.

Con las mediciones realizadas en el pozo de bombeo y piezómetro, durante el primer caudal del ensayo de bombeo escalonado, se determinó la Transmisividad (T) y Coeficiente de Almacenamiento (S) para el sistema acuífero. Para este cálculo se utilizó un programa de

computación aplicando el método de Walton para acuíferos semiconfinados, (Figs.35 y 36). Cabe aclarar que los parámetros determinados a partir del piezómetro, son más confiables que los determinados a partir del pozo de bombeo ya que los datos de este último están influenciados por la eficiencia del pozo.

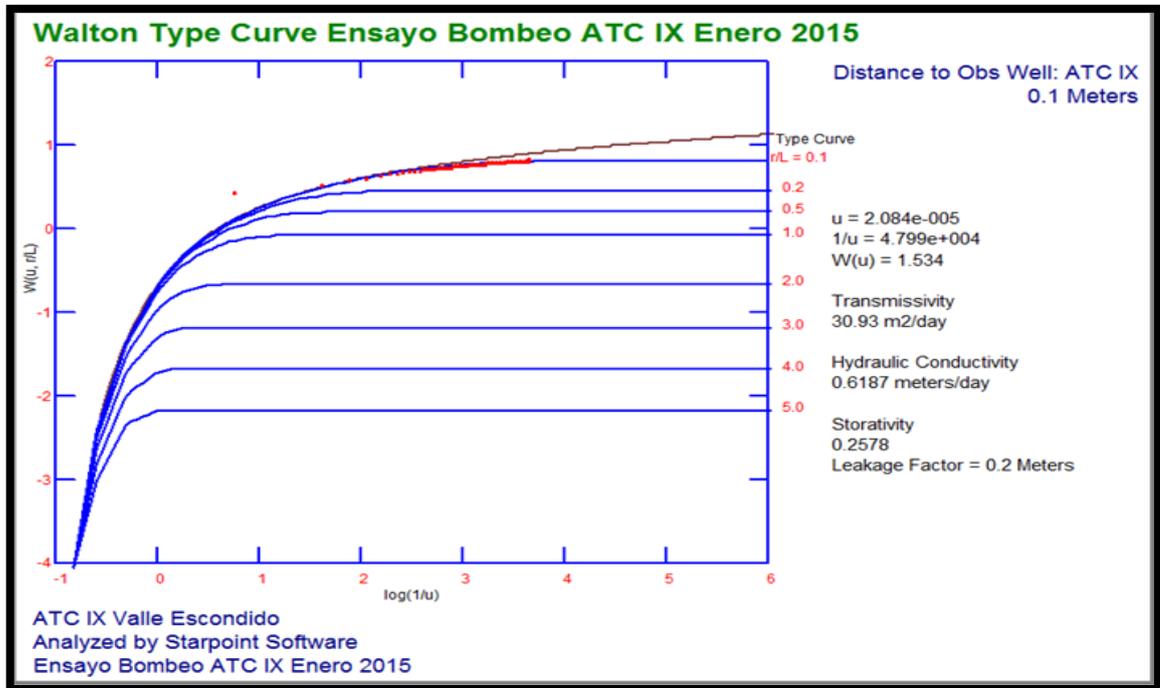


Figura 35: Curva Walton-Pozo ATC IX.

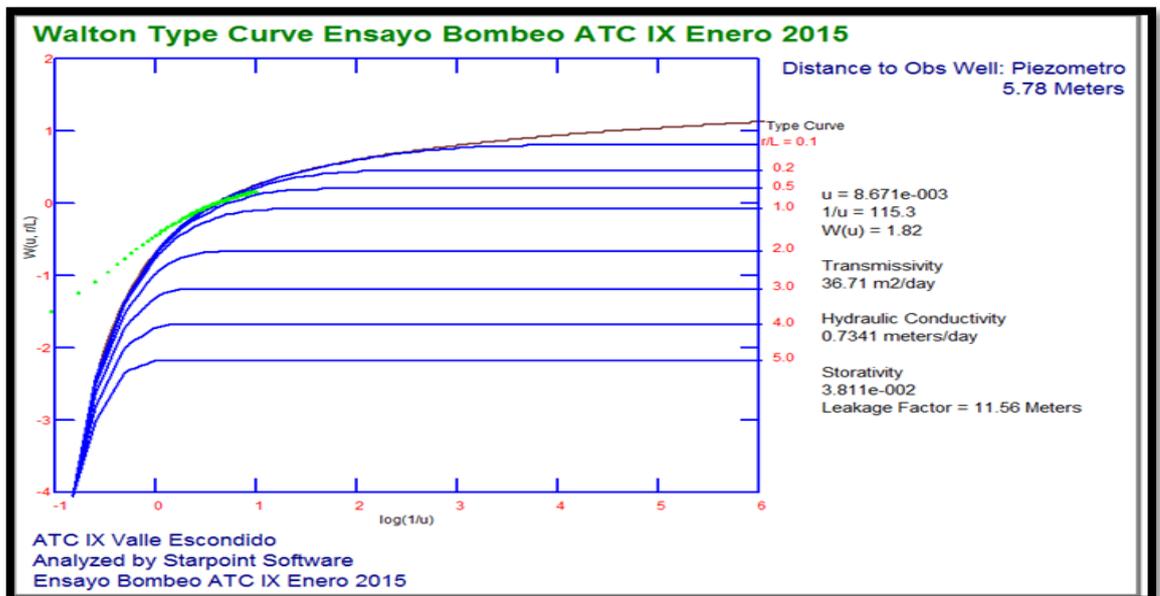


Figura 36: Curva Walton-Pozo piezómetro del ATC IX.

4.8.4 Caudal Especifico

Con los parámetros hidráulicos, se grafican los caudales específicos (Figs.37,38 y 39), en base a la separación de los acuíferos que son captados por los distintos pozos en el área de estudio, tabla 10.

Tabla 10: Características constructivas de los pozos existentes y censados del área de estudio.

Pozo	X	Y	Caudal (m ³ /h)	Caudal Especifico (m ³ /h/m)	Observaciones
El Molino	3564751.2	7261782.17	20.6	14.78	Acuífero Superior
ATC I	3566604.2	7261807.39	19	1.19	Acuífero Superior
ATC VII	3566647.5	7262473.71	8.3	1.11	Acuífero Superior
La Candelaria	3564763.1	7262591.23	84	7.56	Acuífero Inferior
Las Paltas	3565058.1	7262565.23	95.00	2.30	Acuífero Inferior
ASP 1485 Valle Escondido	3566605.6	7261808.92	10	0.11	Acuífero Inferior
ATC IX	3565441.4	7262468.34	42.5	1.58	Acuífero Superior-Inferior
ATC VIII	3565535.2	7262464.51	33.1	1.91	Acuífero Superior-Inferior
ATC VI	3566334.2	7261730.31	4	0.05	Acuífero Superior-Inferior

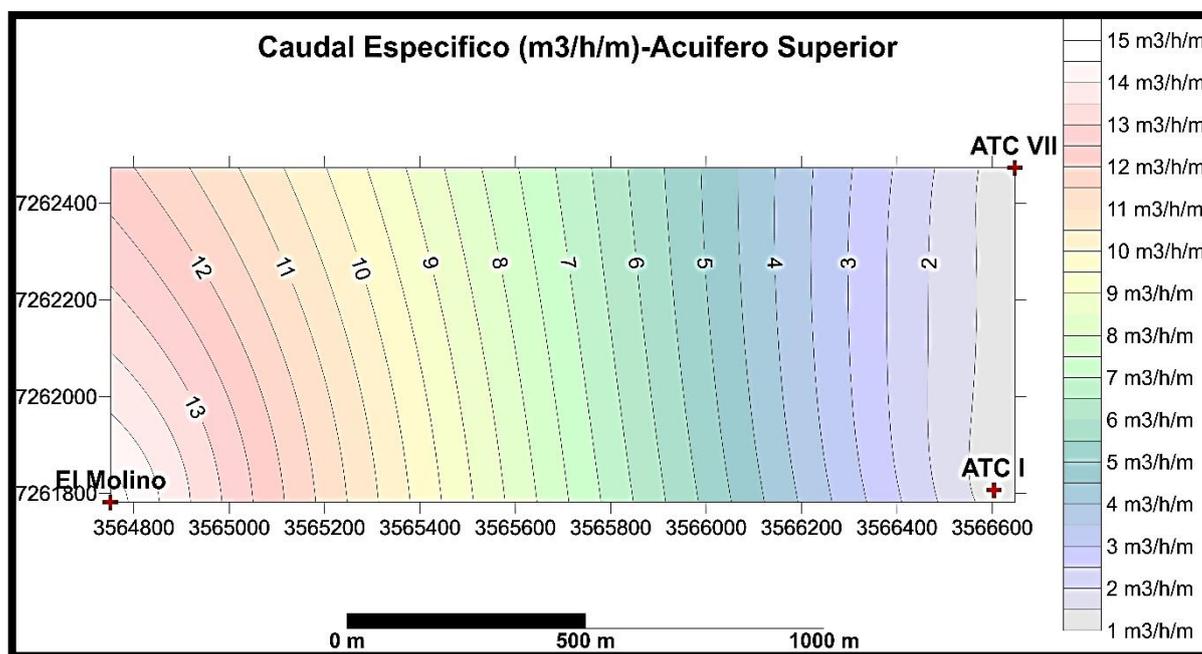


Figura 37: Caudal específico-Acuífero superior, pozos ATC I, VII y El Molino.

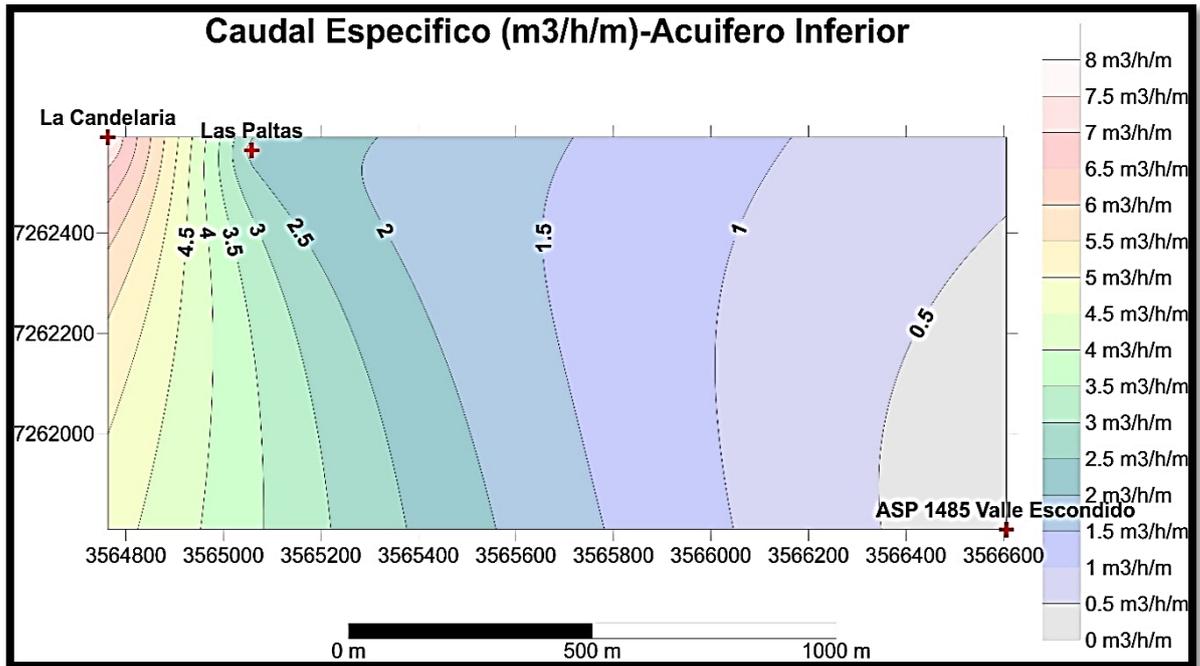


Figura 38: Caudal específico-Acuifero Inferior, pozos ASP 1485, La candelaria y Las Paltas.

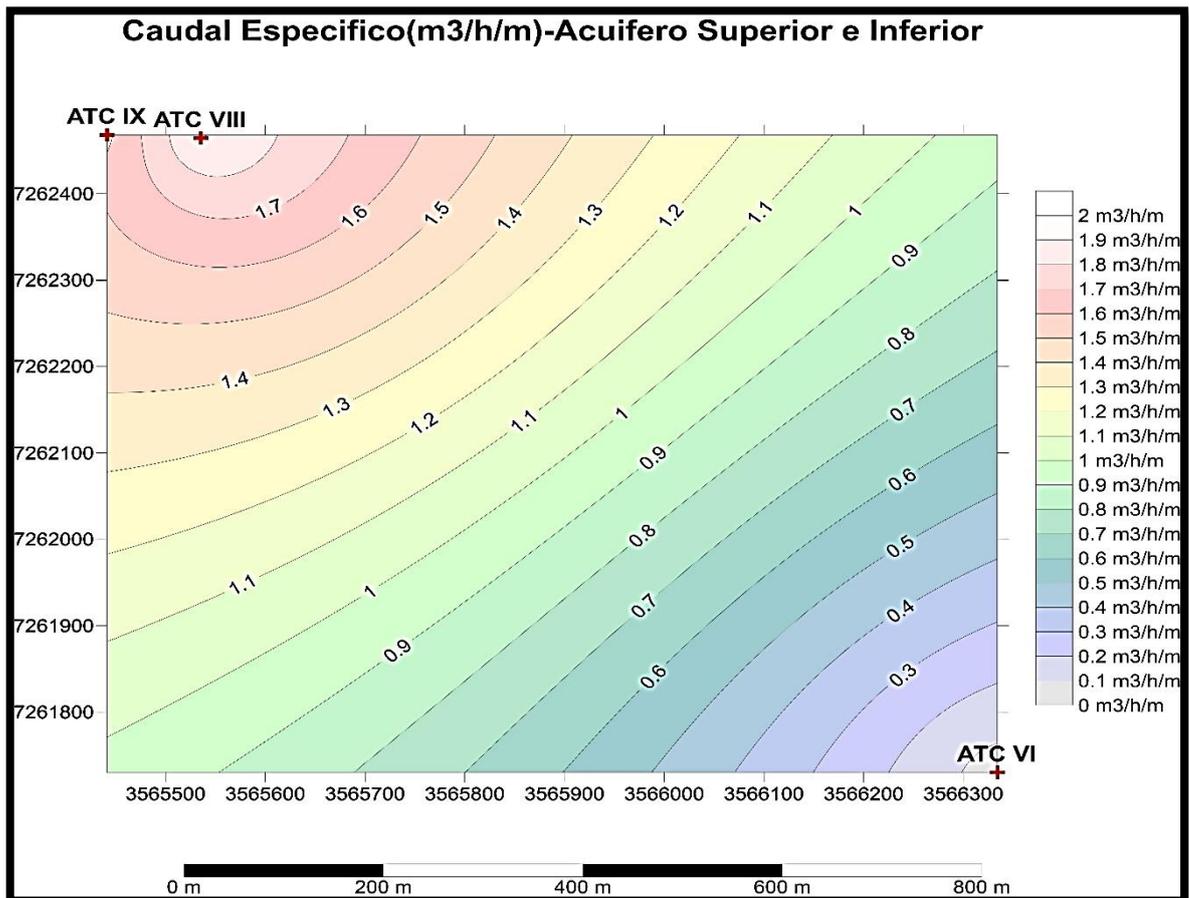


Figura 39: Caudal específico-Acuifero Superior e Inferior, pozos ATC VI, VIII y IX.

4.9 PIEZOMETRIA

La piezometría de una serie de pozos se representa por medio de una configuración piezométrica la cual da lugar a una representación geométrica de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad, tabla 11. Esta representación se realiza por medio de líneas de igual altura piezométrica llamadas líneas equipotenciales. Los mapas de líneas equipotenciales son plasmados en planos que dan a conocer la variación espacial de la carga hidráulica (Figs.40,41 y42).

Tabla 11: Características constructivas de los pozos existentes y censados del área de estudio.

Pozo	X	Y	Acuífero Captado (m)	Nivel estático (m)	Cota de Medición (m)	Cota de agua (m)	Observaciones
El Molino	3564751.2	7261782	14-18	4.03	1302	1297.97	Acuífero superior
ATC I	3566604.2	7261807	22-25	6.68	1270	1263.32	Acuífero superior
ATC VII	3566647.5	7262474	14-32	3.90	1274	1270.1	Acuífero superior
La Candelaria	3564763.1	7262591	63-93	5.9	1287	1281.1	Acuífero Inferior
Las Paltas	3565058	7262565	56-103	2.5	1281	1278.5	Acuífero Inferior
ASP 1485 Valle Escondido	3566605.6	7261809	49-111	11.00	1270	1259	Acuífero Inferior
ATC IX	3565441.4	7262468	20-78	8.62	1278	1269.38	Acuífero Superior-Inferior
ATC VIII	3565535.2	7262465	22-74	5.04	1278	1272.96	Acuífero Superior-Inferior
ATC VI	3566334.2	7261730	16-107	14.8	1276	1261.2	Acuífero Superior-Inferior

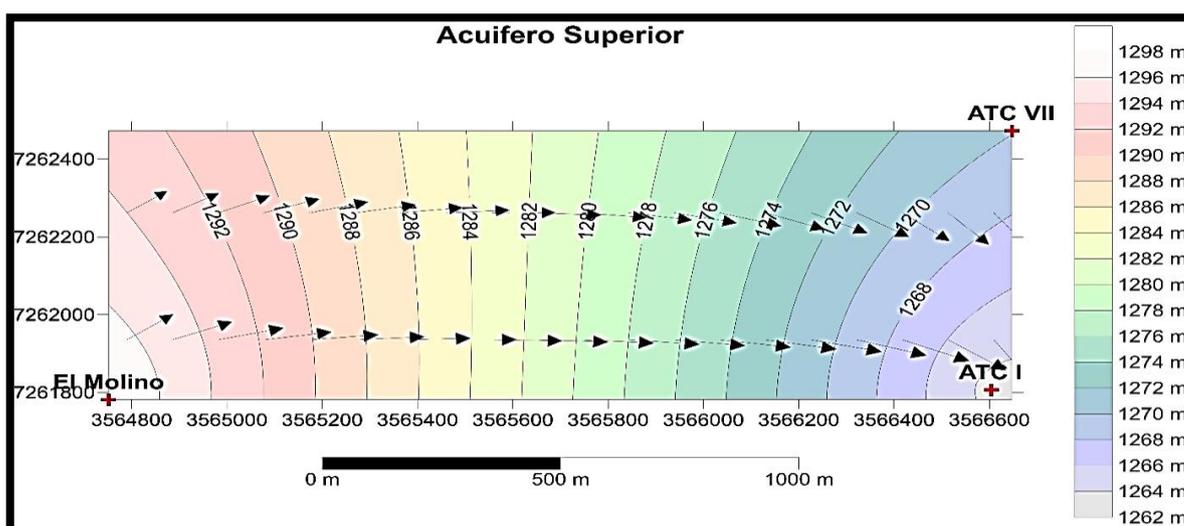


Figura 40: Piezometria-Acuifero Superior, pozos ATC I, VII y El Molino.

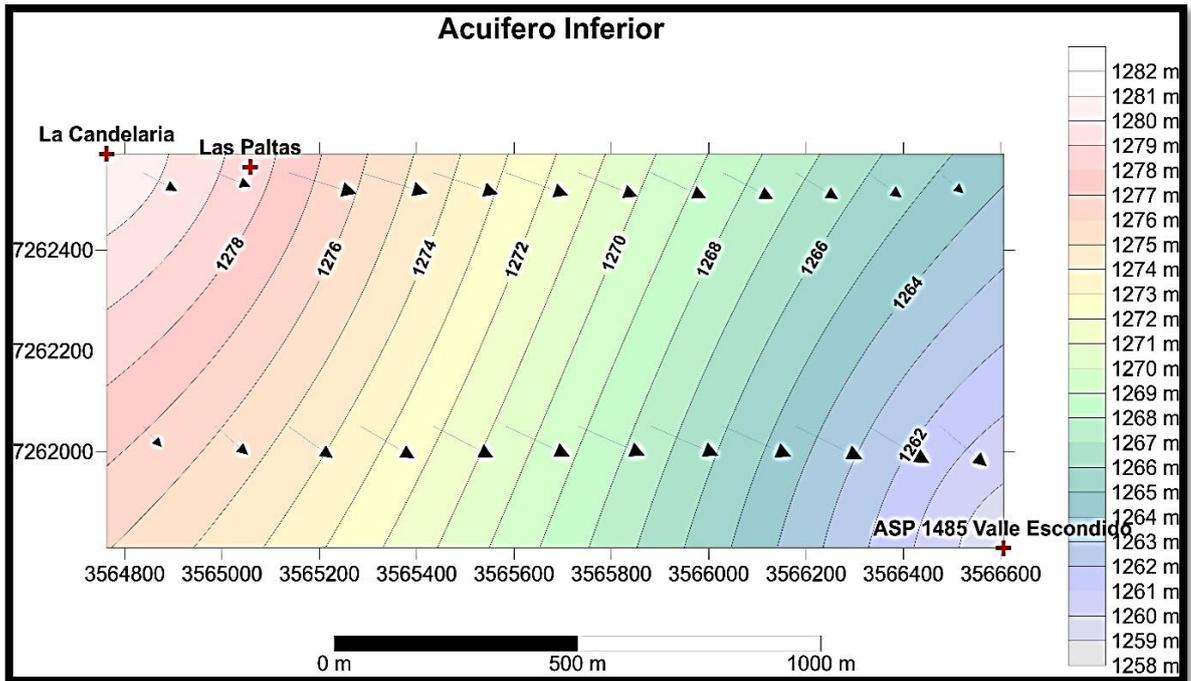


Figura 41: Piezometria-Acuifero Inferior, pozos ASP 1485, La Candelaria y Las Paltas.

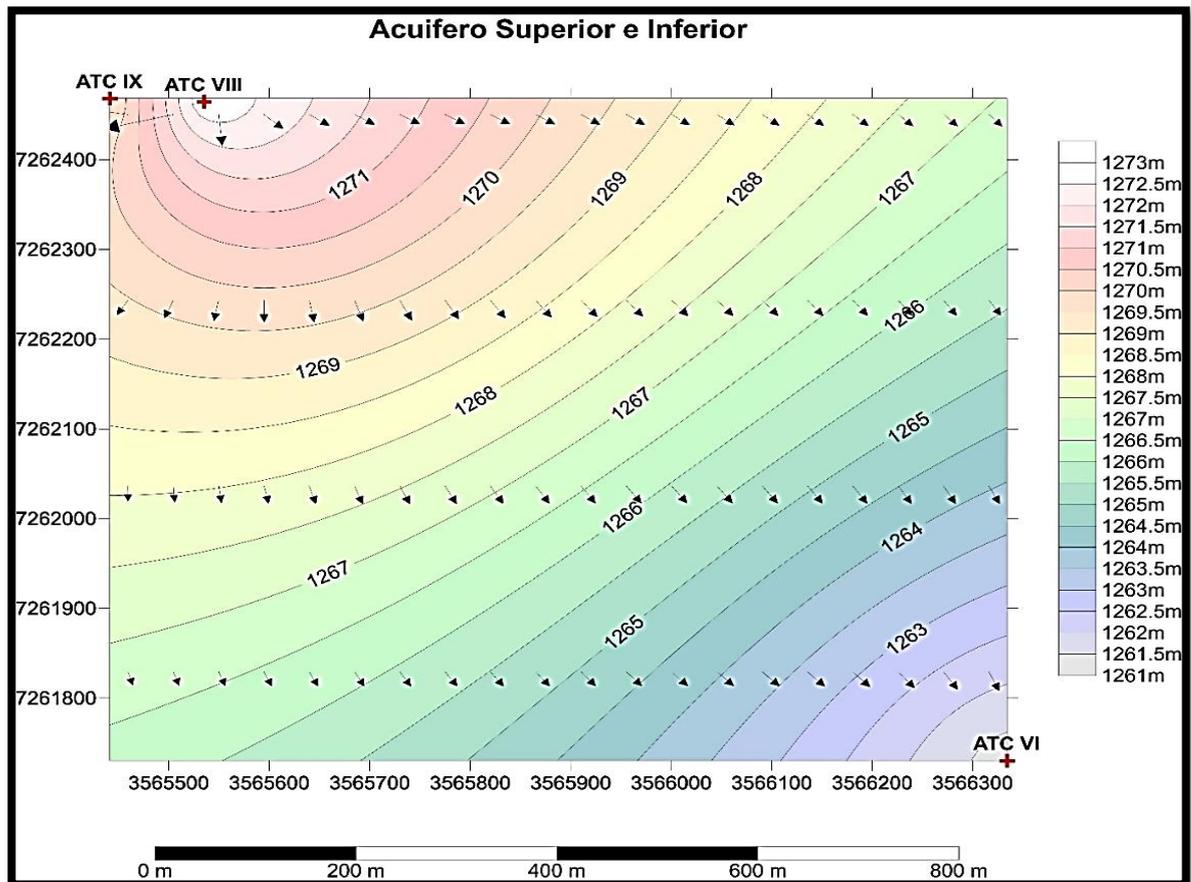


Figura 42: Piezometria-Acuifero Superior e Inferior, pozos ATC VI, VIII y IX.

4.10 CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Además del interés por los problemas de cantidad del agua subterránea en los sistemas acuíferos, el desarrollo social ha llevado a que la comunidad científica se haya ido concientizando de la necesidad de un conocimiento más profundo de los problemas de calidad. Esto se ha traducido en el interés por parte de muchos investigadores por las fuentes y mecanismos de incorporación al agua de sus diversos constituyentes (Schulz y García, 2017).

La calidad química del agua subterránea es una de las facetas más importantes en la técnica del hidrogeólogo. Si luego de los estudios realizados en la etapa de exploración y explotación de agua subterránea se logra obtener un determinado caudal, cualquiera que hubiera sido sus fines: abastecimiento a una población, fines agrícolas o industriales, hasta no realizar un análisis químico no se conocerán verdaderamente el fin que ciertamente pueda dársele a esa agua. A veces, a pesar del éxito aparente por haber obtenido un importante caudal, la euforia inicial puede quedar totalmente anulada frente a una pésima calidad (Schulz y García, 2017).

La calidad del agua subterránea es un concepto tan importante como el de la cantidad de agua, ya que puede llegar a decidir si esta es apta o no para un determinado uso o si el tratamiento correctivo necesario va a ser técnica y económicamente viable. Por este motivo, el concepto de calidad va ligado íntimamente a dos aspectos fundamentales: los condicionamientos naturales que modifican o controlan la composición química de las aguas subterráneas; así como, el uso que se pretende dar a dicha agua, y las políticas de gestión y planificación asociadas a dicho recurso (FCIHS, 2009).

Bajo condiciones naturales, no influenciadas, la calidad intrínseca del agua subterránea dependerá fundamentalmente de los siguientes factores: condiciones originales de los acuíferos, litología, velocidad de circulación, la calidad del agua de infiltración, las relaciones con otras aguas o acuíferos y las leyes del movimiento de las sustancias transportadas con el agua, así como los factores hidrodinámicos. Además de las actividades humanas que pueden (como está ocurriendo en la actualidad) producir poluciones y/o contaminaciones insospechadas (Custodio y Llamas, 1983).

De acuerdo a estos conceptos, el agua explotada por los pozos existentes en este pequeño reservorio de agua subterránea ha sido clasificado de acuerdo a su aptitud para el consumo humano puesto que en el lugar se desarrolla desde hace varios años una importante actividad inmobiliaria y es muy significativo el número de personas que habitan parte de este sector del Valle de Lerma, tabla12.

Valores Guía Código Alimentario Argentino (CAA)	Unidad	Lim.max. agua pot)	Pozo ATC I	Pozo ATC VII	Pozo ASP 1485	Pozo ATC VIII	Pozo ATC IX	Pozo Las Paltas	Pozo La Candelaria
Solidos disueltos	(mg/l)	1500	225	302	302.5	277	301	198	296
PH a 25°C		6.5-8.5	6.9	7.25	7.5	6.7	6.9	7.03	7.34
Turbidez	U.N.T	<3	0.5	2		0.35	<1	1.23	
Conductividad	µS/cm		347	478	468	439	440	365	430
Carbonatos	(mg/l)								
Bicarbonatos	(mg/l)		163.48	249	280.6	239	227	366	260
Cloruros	(mg/l)	350	4.2	3	22	4	2	9	8
Sulfatos	(mg/l)	400	11	11	1	12	6.9	1	22
Calcio	(mg/l)		41	41	37	39	40	26	41
Magnesio	(mg/l)		11	12	8	10	14.5	10	13
Sodio	(mg/l)		18	50	58.9	50	54	90	38
Potasio	(mg/l)		8.6	4.1	3.9	2.5	2.5	3.6	7
Hierro	(mg/l)		<0.2	0.23	0.09		<0.1	0.04	
Nitritos	(mg/l)	0.1	<0.02	<0.02	0.004	<0.02			
Nitratos	(mg/l)	45	4.4	2.5	2.3	12.7	6.9	1.3	1
Boro	(mg/l)	0.5							0.65
Arsénico	(mg/l)	0.01							
Dureza	(mg/l)	400	148	151	127	136	129	43	155.5

Tabla 12: Análisis físicos y químicos del agua subterránea explotada y su comparación con los valores guía del CAA.

También, debido a la importancia que tiene conocer aspectos tales como la geoquímica del agua explotada, se ha efectuado la representación gráfica en un diagrama Piper – Langelier, Grafico 9, de esta forma, observar la clasificación geoquímica.

Pozo ATC I: Tipo Bicarbonatada Cálcica y/o magnésicas.

Pozo ATC VII: Tipo Bicarbonatada Sódica Cálcica.

Pozo ATC VIII: Tipo Bicarbonatada Sódica Cálcica.

Pozo ATC IX: Tipo Bicarbonatada Sódica Cálcica.

Pozo Las Paltas: Tipo Bicarbonatada Sódica.

Pozo La Candelaria: Tipo Bicarbonatada Cálcica y/o magnésicas.

DIAGRAMA DE PIPER

Pozos: ATC I;VII;VIII;IX,ASP1485;Las Paltas;Candelaria

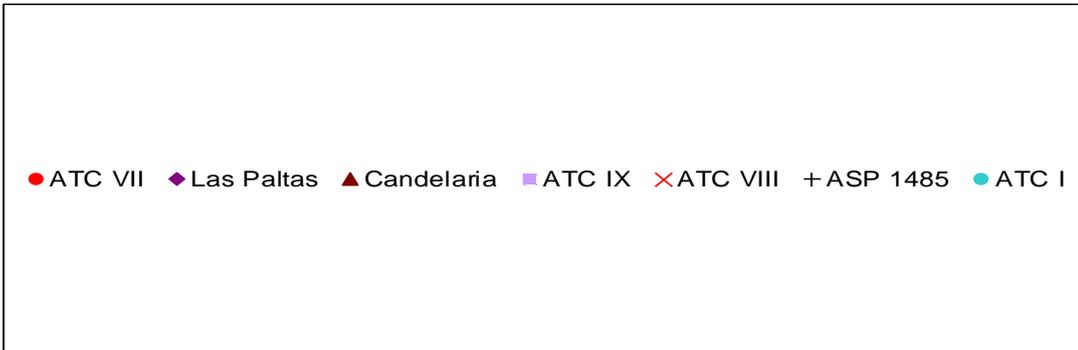
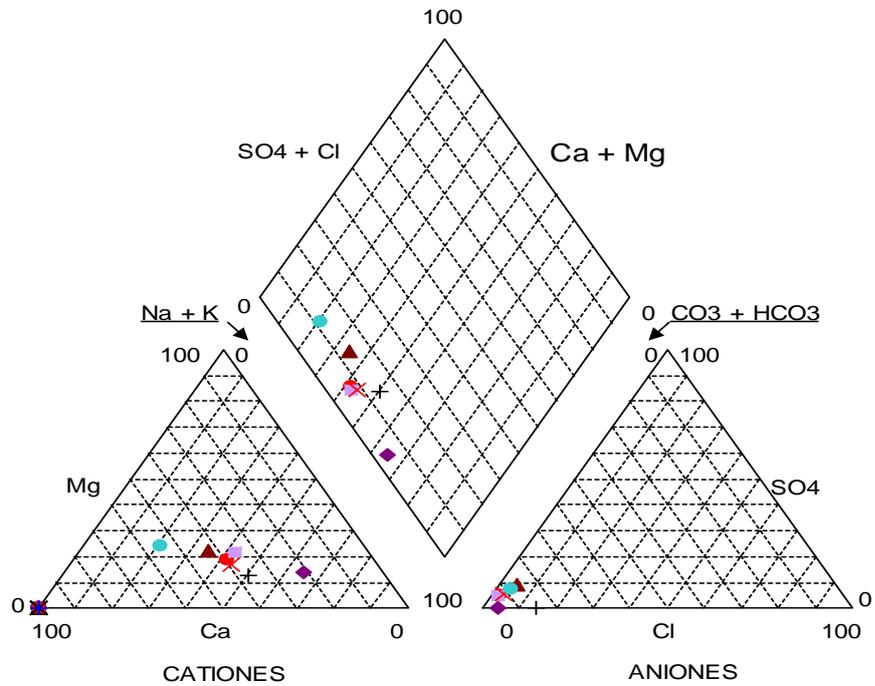


Gráfico 9: Diagrama Piper – Langelier para clasificación geoquímica del agua subterránea explotada por los pozos. Según la clasificación para uso de riego, Grafico 10, en todos los pozos ATC I, VII, VII, IX, Las Paltas, La Candelaria, el agua es de clase C2-S1, que indica un riesgo bajo de sodicidad y medio de salinidad.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

Pozos: ATC I;VII;VIII;IX;ASP1485;Las Paltas;Candelaria

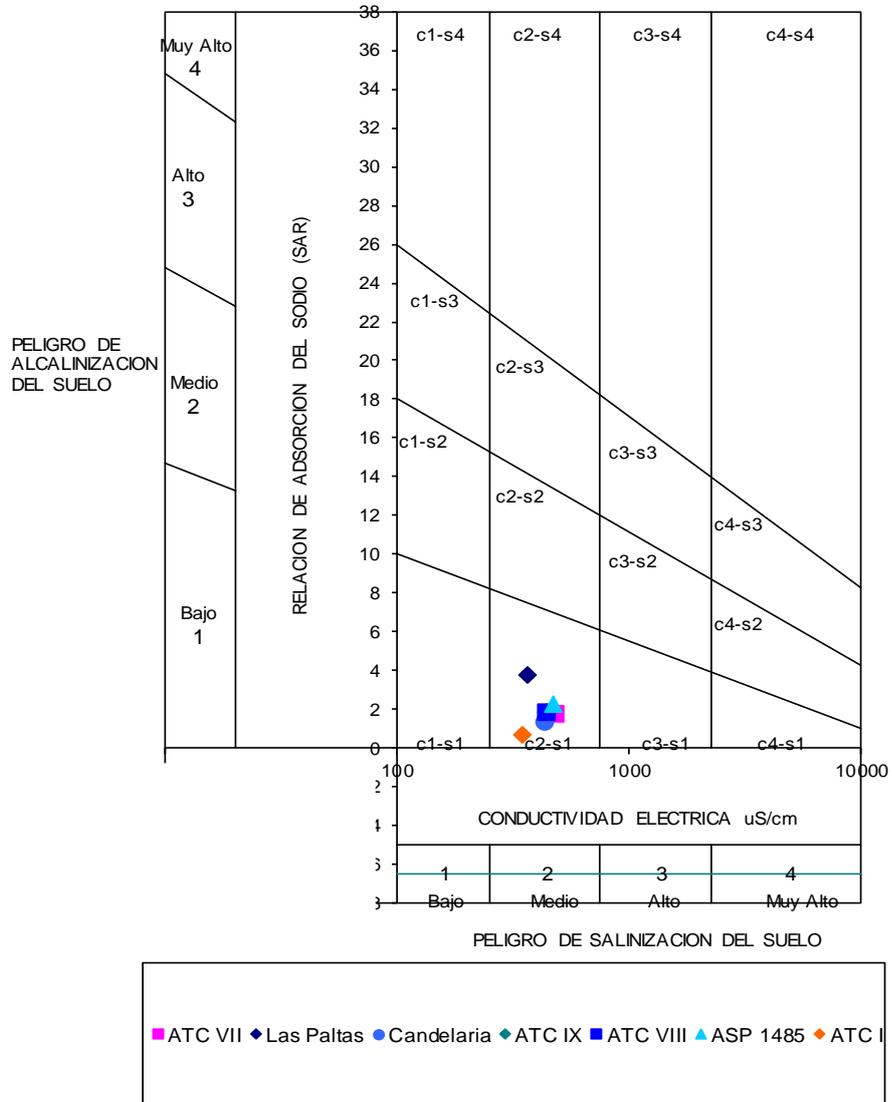


Gráfico 10: Diagrama de Wilcox, representando los pozos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-La precipitación media anual en la Estación El Angosto del Mojotoro es de 662 mm para el período 1943 a 1978, y una temperatura media anual de 17,9 °C, para el ciclo 1987 al 1990. El período de sequía se extiende entre los meses de abril y noviembre y el período lluvioso entre diciembre a marzo, durante el cual ocurre aproximadamente el 81 % de la precipitación anual, encontrándose el área de estudio dentro de una región semiárida.

-Teniendo en consideración la correlación de unidades que tienen una repuesta similar desde el punto de vista geoelectrico, más la información obtenida de legajos técnicos de pozos cercanos la integración de perfiles litológicos, geofísicos de pozos, se construyeron 3 perfiles geoelectricos A-A', B-B', C-C'.

-El perfil Geológico-Geofísico A-A', integrados por los SEV 01 al 04, el espesor de la zona de interés hidrogeológico varía entre un mínimo de 42.8 m sobre el SEV03, 67.9 y un máximo de 90.4 m sobre el SEV 01, en el SEV 04 67.9 m y en el SEV 02 86 m.

-En el perfil Geológico-Geofísico B-B', integrados por los SEV 14 al 10 y el 06, el espesor de la zona de interés hidrogeológico varía entre un mínimo de 27 m sobre el SEV14, y un máximo de 82m sobre el SEV 10, en el SEV 13; 27.5 m, en el SEV 12; 32 m, en el SEV 11; 49 m, en el SEV 06; 34 m.

- En el perfil Geológico-Geofísico C-C', integrados por los SEV 04 al 09, el espesor de la zona de interés hidrogeológico desaparece sobre los SEV 08 Y 09, un máximo de 68.8 m sobre el SEV 07, en el SEV 04; 67.9 m, en el SEV 05; 45 m, en el SEV 06; 34m.

-Con la técnica geofísica empleada (Sondeos Eléctricos Verticales), se han detectado un conjunto de electrocapas que pueden agruparse en tres zonas bien diferenciadas que fueron denominadas de arriba hacia abajo. Zona resistiva Superior sin interés, desde el punto de vista del agua subterránea, que corresponde a sedimentos secos, Zona de Interés Hidrogeológico que correspondería a sedimentos modernos saturados, siendo su litología niveles de rodados, gravas de todos los tamaños y arenas con niveles de bancos arenos-arcilloso. Zona Resistiva que comprende rocas del basamento alteradas con presencia mínima de agua.

-La zona con mayor espesor saturado, se encuentra entre los SEV 01 al 02 con 90 y 86 metros.

-En base al ambiente hidrodinámico y a las propiedades hidráulicas del reservorio, se diferenció conceptualmente la presencia de dos acuíferos uno superior y otro inferior, separados por una capa de arcilla.

-El Acuífero superior está representado por el pozo ATC I, VII y El Molino, presentando el mayor caudal específico el pozo El Molino con un caudal de bombeo 20,6 m³/h y 14.78 m³/h/m. El menor caudal específico se da en el pozo ATC VII, con un caudal de bombeo 8.3 m³/h y 1.11 m³/h/m.

-El Acuífero inferior está representado por el pozo Las Paltas, La Candelaria y ASP 1485, presentando el mayor caudal específico el pozo La Candelaria con un caudal de bombeo 84 m³/h y 7.56 m³/h/m. El menor caudal específico se da en el pozo ASP 1485, con un caudal de bombeo 10 m³/h y 0.11 m³/h/m.

-La captación de ambos acuíferos superior e inferior, está representado por el pozo ATC VI, ATC VIII, ATC IX, presentando el mayor caudal específico el pozo ATC IX con un caudal de bombeo $42.5 \text{ m}^3/\text{h}$ y $1.58 \text{ m}^3/\text{h/m}$. El menor caudal específico se da en el pozo ATC VI, con un caudal de bombeo $4 \text{ m}^3/\text{h}$ y $0.05 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

-Los resultados del relevamiento actual de obras de captación, sumado al conocimiento que se tiene de esta región en trabajos anteriores de investigación geofísica y perforación de pozos, permite señalar que las condiciones hidrogeológicas de este ambiente son regulares si es que se pretende obtener caudales importantes y sostenidos para diversas actividades. Sin embargo, si se analiza la hidrogeología de esta región (tamaño de cuenca, litologías, precipitaciones, etc.), se debe indicar que hasta el presente se han obtenido resultados más que satisfactorios, con los caudales que brindan algunos pozos realizados en el lugar.

-Según la clasificación PIPER el agua es: Pozo ATC I: Tipo Bicarbonatada Cálcica y/o magnésicas; Pozo ATC VII: Tipo Bicarbonatada Sódica Cálcica; Pozo ATC VIII: Tipo Bicarbonatada Sódica Cálcica.; Pozo ATC IX: Tipo Bicarbonatada Sódica Cálcica; Pozo Las Paltas: Tipo Bicarbonatada Sódica; Pozo La Candelaria: Tipo Bicarbonatada Cálcica y/o magnésicas Todas son potables para el consumo humano.

-Según su aptitud para riego el agua es del tipo C2 – S1, lo que indica un riesgo medio de salinidad y bajo de sodicidad del suelo, dado en los Pozos ATC I, ATC VI, ATC VII, ATC VIII, ATC IX, Las Paltas y La Candelaria.

-Desde el punto de vista físico – químico, el agua es apta para el consumo humano y riego ya que no presentan excesos en los parámetros determinados.

5.2 RECOMENDACIONES

-Realizar el monitoreo y seguimiento de la variación del nivel piezométrico de los pozos con el fin de establecer sus variaciones para las distintas épocas del año hidrológico y de esta forma corregir los caudales de explotación en función de la ecuación de descensos determinada en el ensayo de bombeo.

-Con respecto a la calidad física, química y bacteriológica del agua subterránea se deberá efectuar vigilancia sobre la calidad de suministro y la evolución de los distintos parámetros durante las distintas épocas del año.

-Construir una perforación exploratoria en un lugar que sea el más conveniente desde el punto de vista de la logística, hasta una profundidad de 100 metros aproximadamente. Como diseño y concepto inicial, se recomienda poner en producción únicamente aquellos niveles acuíferos detectados por debajo de los 70 metros. También, y si las condiciones lo permiten, investigar hasta mayor profundidad, tratando de localizar el basamento rocoso alterado y evaluar correctamente el potencial hidrogeológico de esta unidad.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

6.1 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ACEÑOLAZA, F y G. ACEÑOLAZA. 2005. "La formación Puncoviscana y unidades estratigráficas vinculadas en el Neoproterozoico - Cámbrico Temprano del Noroeste Argentino". Instituto Superior de Correlación Geológica (CONICET/UNT). Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Miguel Lillo 205 - 4000 San Miguel de Tucumán. Latin American journal of sedimentology and basin analysis. version On-line ISSN 1851-4979. Lat. Am. j. sedimentol. basin anal. v.12 n.2 La Plata ago./dic. 2005.

ASTIER, J. L.1975. "Geofísica Aplicada a la Hidrogeología". 225 p. Editorial Paraninfo. Madrid.

BIANCHI, A. R, YAÑEZ, C. E y ACUÑA, L. R.2005. "Base de Datos Mensuales de Precipitaciones del Noroeste Argentino". 41 p. Proyecto Riesgo Agropecuario. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Salta.

BURGOS, V. A., 2011. "Tomografía Eléctrica Aplicada". Escuela de Geología. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Tesis Profesional. Inédito.

CONHIDRO,2005." Informe Técnico. Pozo Altos de Tres Cerritos VII, Club de Campo Valle Escondido". Departamento Capital. Salta

CONHIDRO,2005. "Informe Técnico. Pozo Altos de Tres Cerritos VIII, Club de Campo Valle Escondido". Departamento Capital. Salta

CONHIDRO, S.R.L,2014. "Estudio de Prefactibilidad para la ubicación de un pozo Valle Escondido, Ruta Nacional N° 9-Acceso Norte". Departamento Capital. Salta.

CONHIDRO, S.R.L,2015. "Informe Final. Pozo Altos de Tres Cerritos IX, Club de Campo Valle Escondido". Departamento Capital. Salta.

CUSTODIO, E y LLAMAS, M. R. 1996. "Hidrología Subterránea". 2350 p. Editorial Omega S. A. Barcelona.

FUERTES, A., GARCIA, R. MOYA RUIZ, F. BAUDINO, G. RIONDA, O. y LOPEZ VAZQUES, M. 1990. "Caracterización Hidrogeológica del Noroeste Argentino, Provincias de Salta y Jujuy. Informe Final Proyecto CUHINOA". Universidad Nacional de Salta. Consejo de Investigación (inédita), Salta.

GALLARDO, E. 1985. "Estudio del Cuaternario de la Cordillera Oriental, Provincias de Salta y Jujuy. Mapa del Valle de Lerma". Informe Final CONICET. Inédito, Salta.

GALLARDO, E, AGUILERA, N. G, DAVIES, D. A y ALONSO, R.N. 1996. "Estratigrafía del Cuaternario del Valle de Lerma, Provincia de Salta, Argentina". 12 Congreso Geológico de Bolivia, Actas 2: 483-493, Tarija, Bolivia.

GARCIA, R. F. 1988. "Hidrogeología de la zona comprendida entre Cerrillos y Sumalao. Departamento Cerrillos. Provincia de Salta". Tesis Profesional, Universidad Nacional de Salta (inédita), 102 p., Salta.

GARCIA, R. F. 2003. "*Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua*". Tema 10. Cátedra de Geofísica. Escuela de Geología. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, (inérita), 37 p., Salta.

GARCIA, R. F. y ROCHA, M.V. 2007. "*Apuntes teóricos de la materia Hidrogeología. Escuela de Geología. Facultad de Ciencias Naturales*". Universidad Nacional de Salta. Publicación interna de la Facultad de Ciencias Naturales. Escuela de Geología.

GARCIA MAURIZIO, R. F. 2013. "*Geología de los Recursos Hídricos*". 441 p. Editorial Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Argentino, Buenos Aires. ISBN 978-987-27407-2-6.

ISSAR A. y R. PASSCHIER, 1990. "*Regional hydrogeological concepts*". En: Lerner, D., A. Issar and I. Simmers. 1990. Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge. International contributions to Hydrogeology, Vol 8. International Association of Hydrogeologists - Heisse. Hannover.

INASLA. 2015. "Base de datos de pozos de la Provincia de Salta, (inérita)". Salta.

LOKE, M.H. 1999. "*Electrical Imaging Survey for Environmental and Engineering Studies*". A practical guide to 2D and 3D surveys. 5, Cangkat Minden Lorong 6, Minden Heights, 11700. Penang. Malaysia.

ORELLANA, E. 1982. "*Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua*". Tomo 1. 450 p. Editorial Paraninfo. 2ª ed. Madrid.

SANCHEZ SERVICIOS, 2013. "*Informe Técnico de Perforación. Pozo Finca La Candelaria. Departamento Capital*". Salta.

SALTA PERFORACIONES DE DRILLING SERVICES S. A., 2012. "*Informe Técnico. Nuevo Pozo de Bombeo Las Paltas S.A. Pozo N°1. Departamento Capital*". Salta.

Páginas Web:

COMISION NACIONAL DEL AGUA-MEXICO.

<https://www.conagua.gob.mx>

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

7.1 BIBLIOGRAFIA

CODIGO DE AGUA DE LA PROVINCIA DE SALTA. 1998. “*Reglamentación del código de agua. Ley N° 7017. Provincia de Salta*”.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS. 1985. “*Guías para la calidad del agua de bebida. Primera edición*”.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS. 1988. “*Guías para la calidad del agua de bebida. Segunda edición*”.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS. 2004. “*Guías para la calidad del agua de bebida. Tercera edición*”.

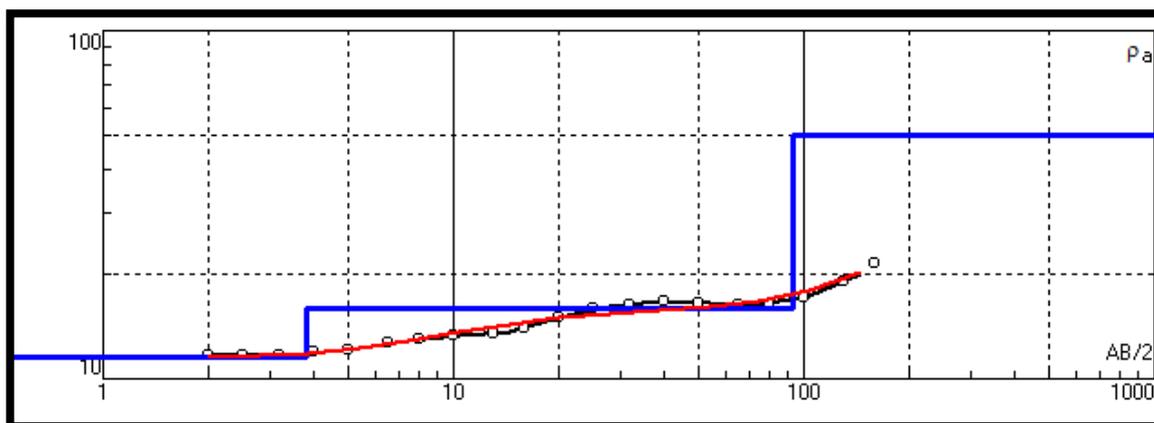
CAPITULO VIII

ANEXO

GEOELECTRICA SEV 01

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
11.5	3.8	3.8
16.0	90.2	94.0
50.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	11.64	2.0	11.15
2	2.5	11.73	2.8	11.34
3	3.2	11.62	3.9	11.67
4	4.0	11.94	5.4	12.13
5	5.0	12.06	7.5	12.65
6	6.5	12.65	10.4	13.11
7	8.0	12.95	14.4	13.46
8	10.0	13.28	20.0	13.71
9	13.0	13.46	27.8	13.89
10	16.0	13.52	38.6	14.08
11	20.0	15.92	53.7	14.39
12	25.0	16.02	74.55	15.05
13	32.0	16.34	103.59	16.46
14	40.0	16.73	143.94	19.11
15	50.0	16.58		
16	65.0	16.4		
17	80.0	16.34		
18	100.0	17.08		
19	130.0	18.97		
20	160.0	21.38		

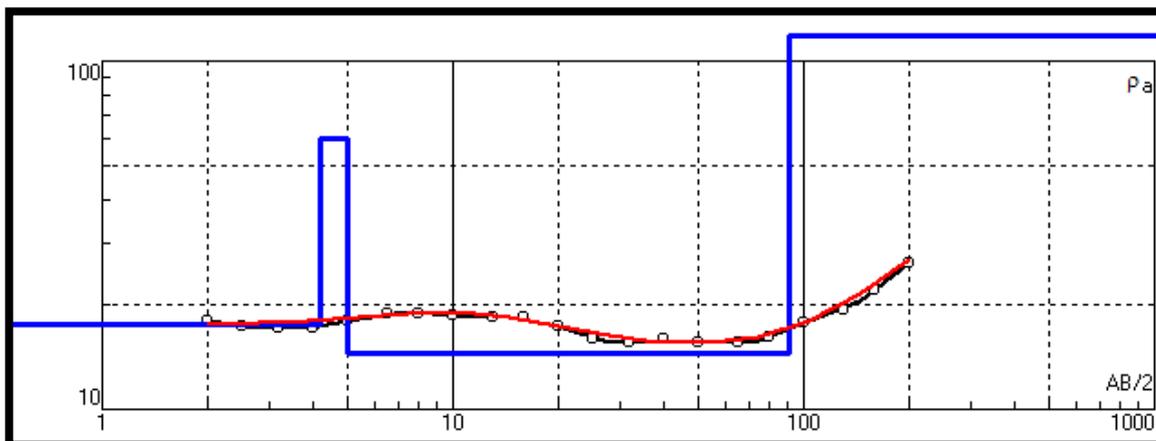


Jorge Christian Vega Filippin
 M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 02

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
17.5	4.2	4.2
60.0	0.8	5.0
14.5	86.0	91
118.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	17.9	2.0	17.20
2	2.5	17.25	2.8	17.43
3	3.2	17.17	3.9	17.82
4	4.0	17.16	5.4	18.33
5	5.0	17.95	7.5	18.77
6	6.5	18.86	10.4	18.89
7	8.0	18.89	14.4	18.59
8	10.0	18.61	20.0	17.98
9	13.0	18.47	27.8	17.34
10	16.0	18.37	38.6	16.92
11	20.0	17.33	53.7	16.89
12	25.0	15.86	74.6	17.43
13	32.0	15.5	103.6	18.87
14	40.0	15.85	143.9	21.66
15	50.0	15.55	200.0	26.01
16	65.0	15.49		
17	80.0	16.04		
18	100.0	17.83		
19	130.0	19.35		
20	160.0	21.87		
21	200.0	26.2		

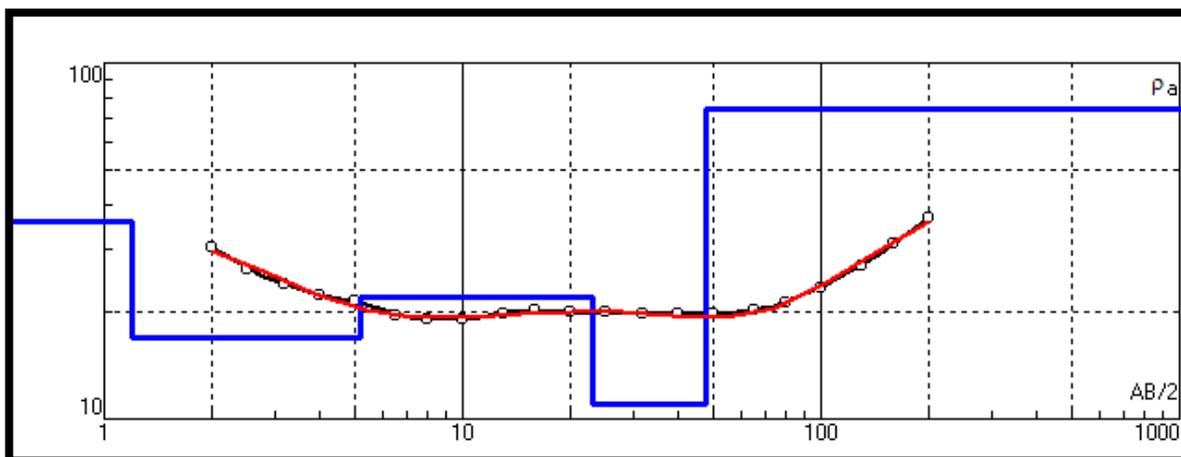


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 03

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
36.0	1.2	1.2
17.0	4.0	5.2
22.0	17.8	23.0
11.0	25.0	48
74.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	30.21	2.0	29.91
2	2.5	26.28	2.8	26.49
3	3.2	23.99	3.9	23.06
4	4.0	22.2	5.4	20.70
5	5.0	21.55	7.5	19.71
6	6.5	19.46	10.4	19.65
7	8.0	19.07	14.4	19.93
8	10.0	18.97	20.0	20.17
9	13.0	19.78	27.8	20.20
10	16.0	20.32	38.6	20.05
11	20.0	20.02	53.7	20.06
12	25.0	19.93	74.6	21.10
13	32.0	19.67	103.6	24.27
14	40.0	19.83	143.9	29.95
15	50.0	19.74	200.0	37.60
16	65.0	20.13		
17	80.0	21.09		
18	100.0	23.42		
19	130.0	26.86		
20	160.0	31.16		
21	200.0	36.86		

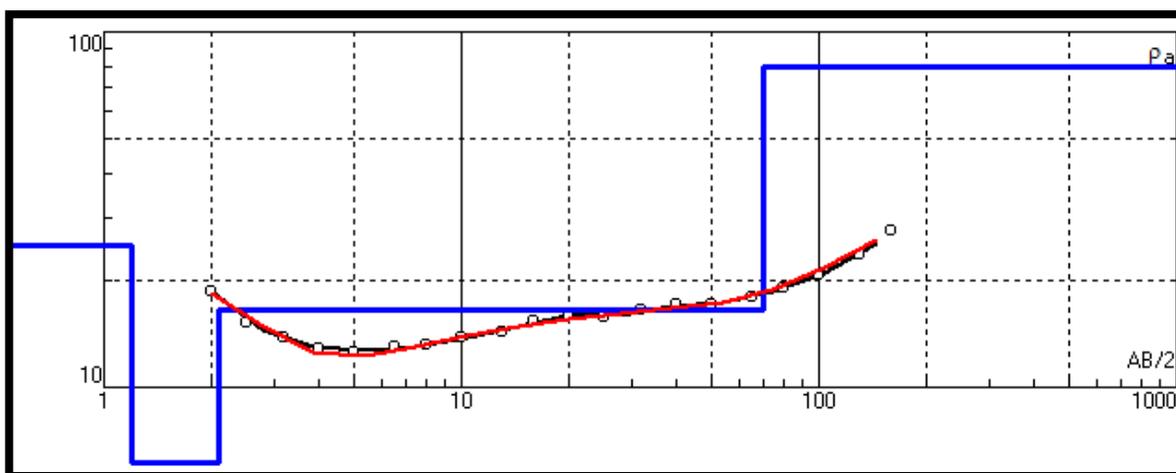


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 04

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
25.0	1.2	1.2
5.0	0.9	2.1
16.5	67.9	70.0
80.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	18.58	2.0	18.07
2	2.5	15.2	2.8	14.45
3	3.2	13.85	3.9	12.61
4	4.0	12.91	5.4	12.36
5	5.0	12.59	7.5	13.02
6	6.5	12.97	10.4	13.99
7	8.0	13.12	14.4	14.94
8	10.0	13.73	20.0	15.73
9	13.0	14.36	27.8	16.38
10	16.0	15.35	38.6	17.01
11	20.0	15.93	53.7	17.89
12	25.0	15.69	74.6	19.40
13	32.0	16.54	103.6	21.91
14	40.0	17.04	143.9	25.48
15	50.0	17.19		
16	65.0	17.89		
17	80.0	19.01		
18	100.0	20.74		
19	130.0	23.66		
20	160.0	27.67		

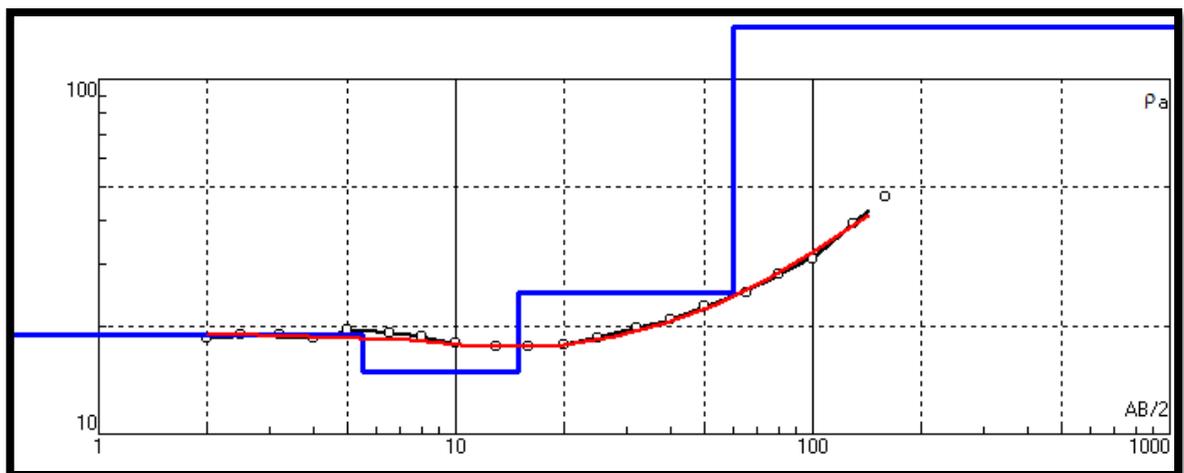


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 05

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
19.0	5.5	5.5
15.0	9.5	15.0
25.0	45.0	60.0
140.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	18.70	2.0	18.98
2	2.5	19.10	2.8	18.94
3	3.2	19.00	3.9	18.86
4	4.0	18.70	5.4	18.68
5	5.0	19.60	7.5	18.36
6	6.5	19.30	10.4	17.92
7	8.0	18.80	14.4	16.61
8	10.0	18.00	20.0	17.79
9	13.0	17.60	27.8	18.77
10	16.0	17.70	38.6	20.60
11	20.0	17.90	53.7	23.30
12	25.0	18.68	74.6	27.23
13	32.0	19.81	103.6	33.07
14	40.0	21.03	143.9	41.29
15	50.0	23.03		
16	65.0	25.11		
17	80.0	28.24		
18	100.0	31.20		
19	130.0	39.19		
20	160.0	46.40		

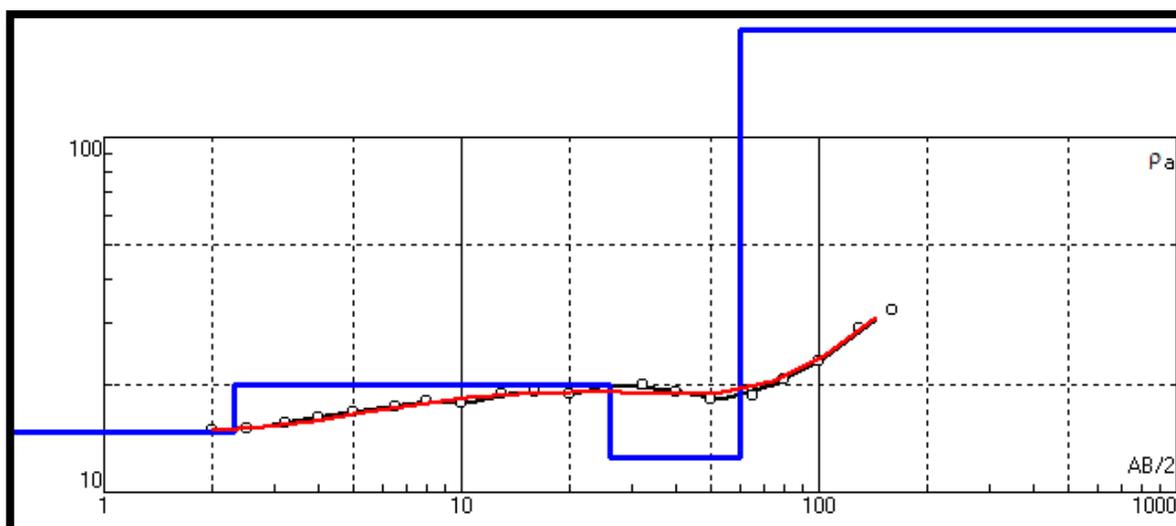


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 06

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
14.7	2.3	2.3
20.0	23.7	26.0
12.5	34.0	60.0
200.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	15.00	2.0	17.99
2	2.5	15.10	2.8	15.34
3	3.2	15.60	3.9	15.93
4	4.0	16.30	5.4	16.75
5	5.0	16.82	7.5	17.63
6	6.5	17.50	10.4	18.40
7	8.0	18.00	14.4	18.93
8	10.0	17.80	20.0	19.20
9	13.0	18.90	27.8	19.19
10	16.0	19.20	38.6	19.03
11	20.0	18.90	53.7	19.14
12	25.0	19.69	74.6	20.52
13	32.0	20.15	103.6	24.33
14	40.0	19.13	143.9	31.12
15	50.0	18.33		
16	65.0	18.79		
17	80.0	20.82		
18	100.0	23.43		
19	130.0	28.97		
20	160.0	32.48		

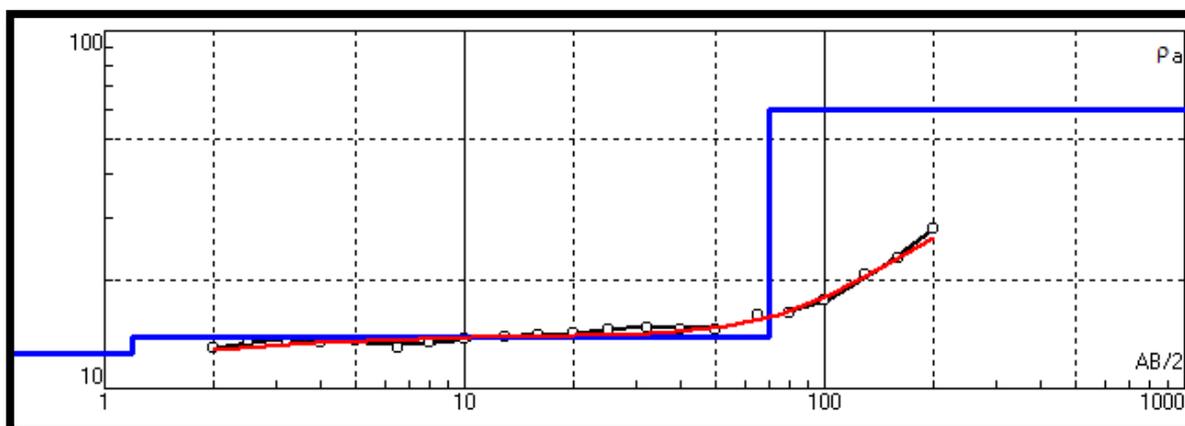


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 07

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
12.5	1.2	1.2
14.0	68.8	70.0
60.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	12.97	2.0	12.88
2	2.5	13.52	2.8	13.12
3	3.2	13.64	3.9	13.39
4	4.0	13.49	5.4	13.61
5	5.0	13.62	7.5	13.77
6	6.5	12.96	10.4	13.88
7	8.0	13.48	14.4	13.95
8	10.0	13.72	20.0	14.02
9	13.0	13.89	27.8	14.12
10	16.0	14.16	38.6	14.35
11	20.0	14.30	53.7	14.88
12	25.0	14.67	74.6	16.03
13	32.0	14.80	103.6	18.23
14	40.0	14.67	143.9	21.75
15	50.0	14.53	200.0	26.44
16	65.0	15.96		
17	80.0	16.16		
18	100.0	17.53		
19	130.0	20.73		
20	160.0	23.21		
21	200.0	27.99		

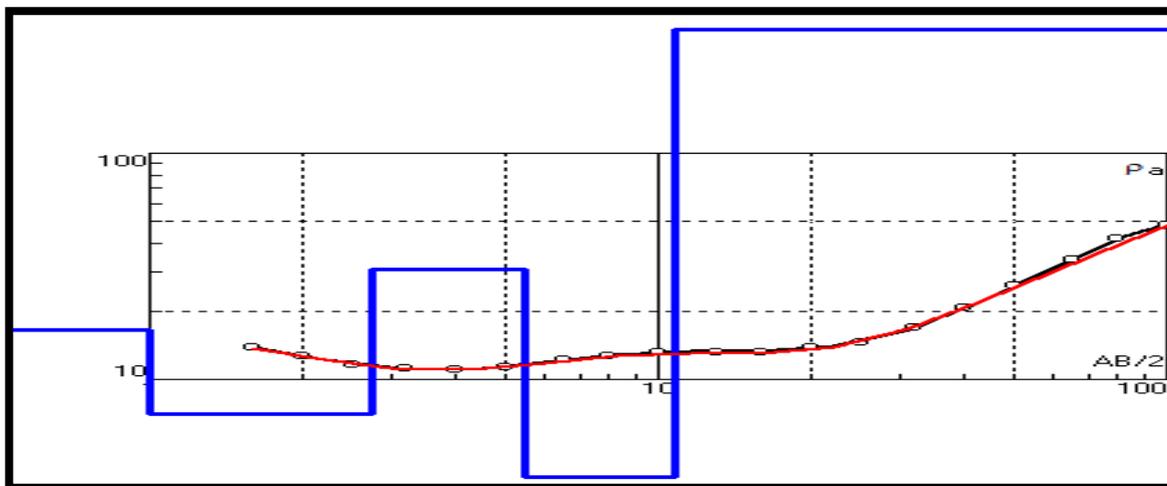


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 08

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
16.5	1.0	1.0
7.0	1.8	2.8
30.5	2.8	5.5
3.7	5.30	10.8
350.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	1.6	13.80	1.6	13.77
2	2.0	12.74	2.2	12.21
3	2.5	11.68	3.1	11.09
4	3.2	11.18	4.3	10.99
5	4.0	11.08	6.0	11.79
6	5.0	11.27	8.3	12.66
7	6.5	12.18	11.5	12.99
8	8.0	12.71	16.0	13.02
9	10.0	13.27	22.2	13.89
10	13.0	13.27	30.9	16.79
11	16.0	13.27	42.9	22.17
12	20.0	13.85	59.6	29.99
13	25.0	14.57	82.9	40.45
14	32.0	17.00	115.2	54.05
15	40.0	20.70		
16	50.0	25.86		
17	65.0	34.01		
18	80.0	41.77		
19	100.0	48.31		

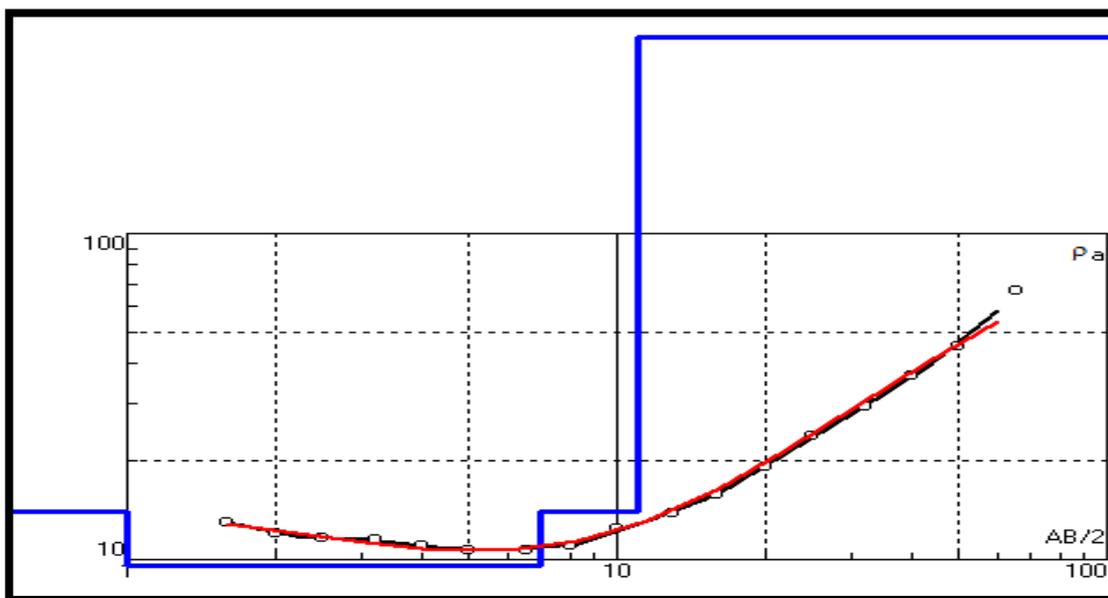


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 09

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
14.0	1.0	1.0
9.6	6.0	7.0
14.0	4.0	11.0
400.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	1.6	13.00	1.6	12.79
2	2.0	12.00	2.2	12.00
3	2.5	11.70	3.1	11.22
4	3.2	11.50	4.3	10.72
5	4.0	11.00	6.0	10.70
6	5.0	10.70	8.3	11.37
7	6.5	10.70	11.5	13.10
8	8.0	11.00	16.0	16.40
9	10.0	12.39	22.2	21.73
10	13.0	13.84	30.9	29.41
11	16.0	15.74	42.9	39.78
12	20.0	19.17	59.6	53.42
13	25.0	23.94		
14	32.0	29.50		
15	40.0	36.54		
16	50.0	45.25		
17	65.0	66.52		

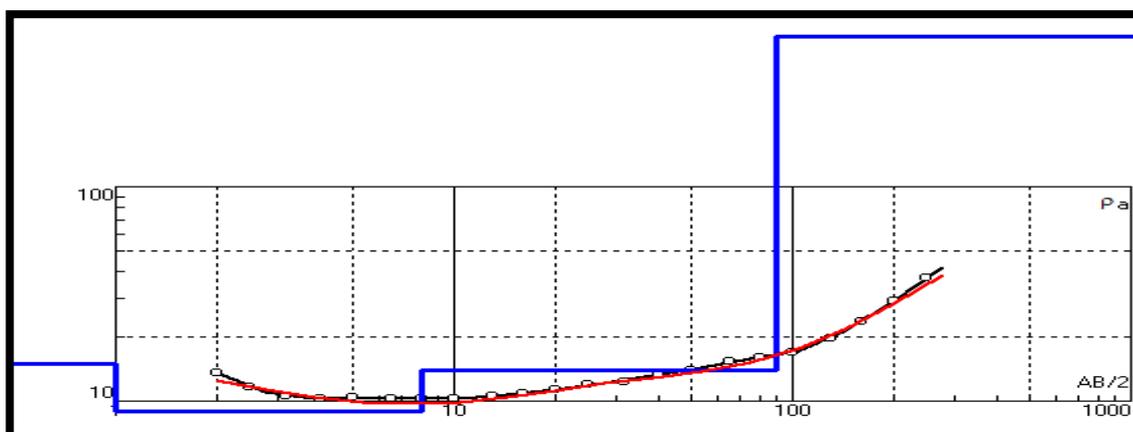


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 10

Resistividad (Ohm.m)	Esesor (metros)	Profundidad (metros)
15.0	1.0	1.0
9.0	7.0	8.0
14.0	82.0	90.0
500.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	13.50	2.0	12.51
2	2.5	11.70	2.8	11.33
3	3.2	10.50	3.9	10.37
4	4.0	10.30	5.4	9.82
5	5.0	10.40	7.5	9.68
6	6.5	10.30	10.4	9.89
7	8.0	10.30	14.4	10.43
8	10.0	10.30	20.0	11.20
9	13.0	10.60	27.8	12.05
10	16.0	10.80	38.6	12.89
11	20.0	11.30	53.7	13.81
12	25.0	11.90	74.6	15.14
13	32.0	12.31	103.6	17.48
14	40.0	13.27	143.9	21.72
15	50.0	13.92	200.0	28.62
16	65.0	15.44	277.9	38.64
17	80.0	15.89		
18	100.0	16.95		
19	130.0	19.67		
20	160.0	23.60		
21	200.0	29.12		
22	250.0	37.37		

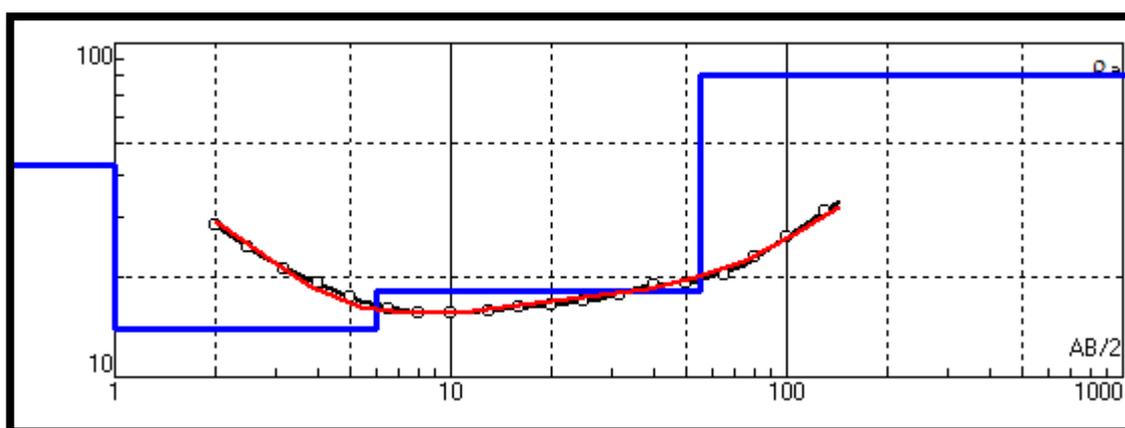


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 11

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
43.0	1.0	1.0
14.0	5.0	6.0
18.0	49.0	55.0
80.0		

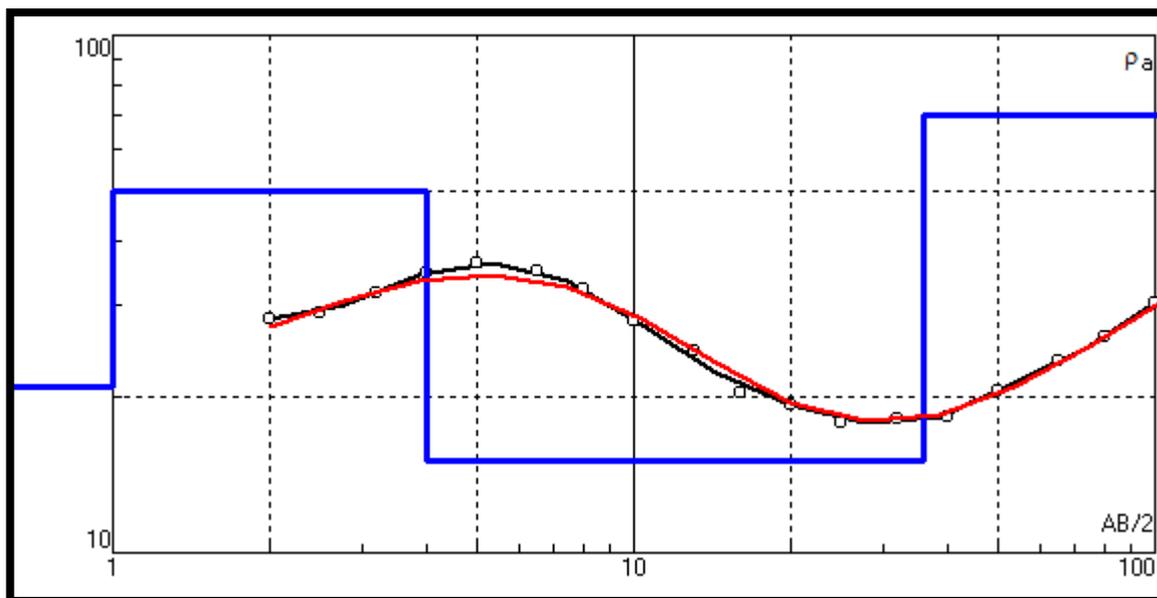
Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	28.63	2.0	29.25
2	2.5	24.50	2.8	23.11
3	3.2	21.20	3.9	18.53
4	4.0	19.14	5.4	16.19
5	5.0	17.40	7.5	15.48
6	6.5	16.00	10.4	15.60
7	8.0	15.60	14.4	16.13
8	10.0	15.45	20.0	16.79
9	13.0	15.73	27.8	17.50
10	16.0	16.29	38.6	18.38
11	20.0	16.38	53.7	19.81
12	25.0	16.79	74.6	22.36
13	32.0	17.65	103.6	26.52
14	40.0	18.93	143.9	32.32
15	50.0	19.11		
16	65.0	20.27		
17	80.0	22.74		
18	100.0	26.20		
19	130.0	31.44		



GEOELECTRICA SEV 12

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
21.0	1.0	1.0
50.0	3.0	4.0
15.0	32.0	36.0
70.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	28.32	2.0	27.38
2	2.5	29.18	2.8	30.67
3	3.2	31.89	3.9	33.40
4	4.0	34.71	5.4	34.33
5	5.0	36.29	7.5	32.56
6	6.5	34.95	10.4	28.32
7	8.0	32.32	14.4	23.28
8	10.0	27.96	20.0	19.50
9	13.0	24.60	27.8	17.94
10	16.0	20.38	38.6	18.45
11	20.0	19.38	53.7	20.83
12	25.0	17.87	74.6	24.99
13	32.0	18.19	103.6	30.53
14	40.0	18.30		
15	50.0	20.62		
16	65.0	23.39		
17	80.0	26.02		
18	100.0	30.36		

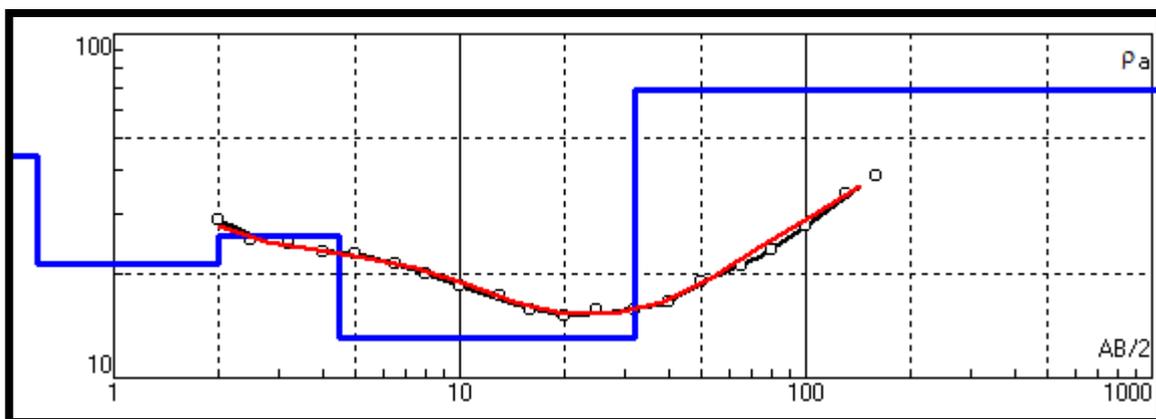


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 13

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
44.0	0.6	0.6
21.5	1.4	2.0
26.0	2.5	4.5
13.0	27.5	32.0
69.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	28.80	2.0	27.62
2	2.5	25.22	2.8	24.97
3	3.2	24.50	3.9	23.56
4	4.0	23.30	5.4	22.45
5	5.0	22.80	7.5	20.83
6	6.5	21.50	10.4	18.66
7	8.0	20.00	14.4	16.60
8	10.0	18.50	20.0	15.37
9	13.0	17.30	27.8	15.34
10	16.0	15.70	38.6	16.68
11	20.0	15.20	53.7	19.60
12	25.0	15.67	74.6	24.05
13	32.0	15.67	103.6	29.67
14	40.0	16.73	143.9	35.98
15	50.0	18.97		
16	65.0	21.09		
17	80.0	23.57		
18	100.0	27.51		
19	130.0	34.05		
20	160.0	38.50		

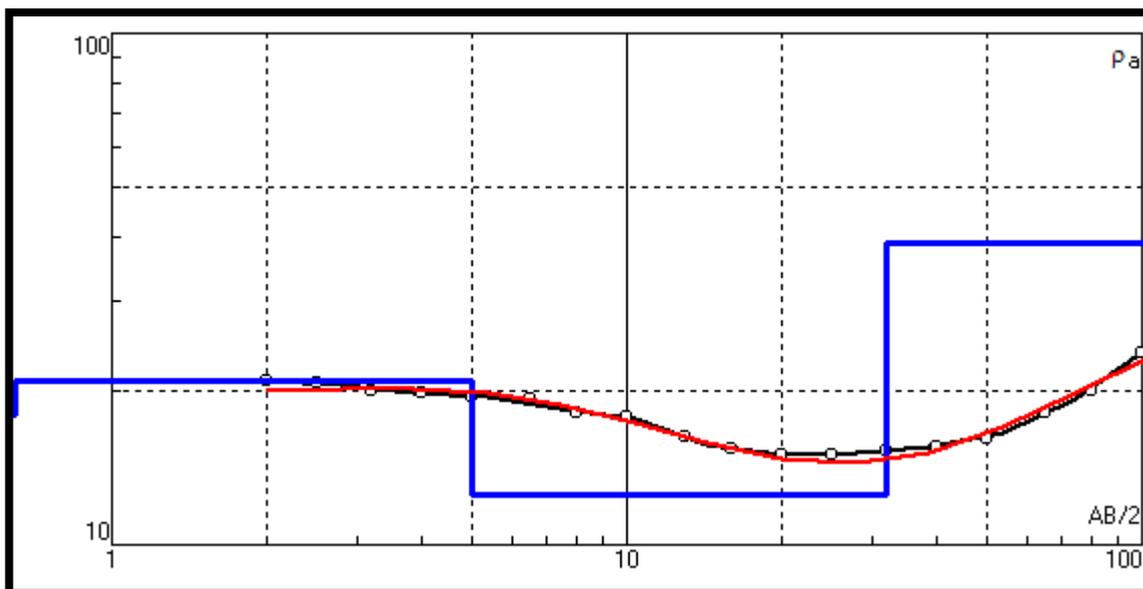


Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272

GEOELECTRICA SEV 14

Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
18.0	0.5	0.5
21.0	4.5	5.0
12.5	27.0	32.0
39.0		

Número	AB/2	Resistividad de Campo	AB/2	Resistividad Computación
1	2.0	20.90	2.0	19.99
2	2.5	20.81	2.8	20.25
3	3.2	20.00	3.9	20.21
4	4.0	19.85	5.4	19.78
5	5.0	19.45	7.5	18.82
6	6.5	19.20	10.4	17.37
7	8.0	18.16	14.4	15.81
8	10.0	17.80	20.0	14.70
9	13.0	16.20	27.8	14.42
10	16.0	15.40	38.6	15.17
11	20.0	15.04	53.7	17.03
12	25.0	15.04	74.6	19.88
13	32.0	15.23	103.6	23.29
14	40.0	15.60		
15	50.0	16.07		
16	65.0	18.03		
17	80.0	19.99		
18	100.0	23.73		



Jorge Christian Vega Filippin
M.U.N:272


TECNOSUELO

 Laboratorio de análisis de suelos, aguas y plantas
 Pje. A. Herrero y Villacorta 361 - Telégrafos: 6381-429172
 CP 4000 - San Miguel de Tucumán - Tucumán
 tecnosuelo@tecnosuelo.com.ar

SÁNCHEZ SERVICIOS S.R.L.
Informe n° 13035
POZO ZONA VALLE ESCONDIDO

Capital, Salta.

Fecha: 26/08/13.

**ANÁLISIS DE AGUA
RESULTADOS**
Muestra n° 1. Fuente: Pozo.

Sólidos solubles (mg/l)	296	
Conductividad eléctrica (µS/cm)	430	
Reacción química (pH)	7.34	
Aniones		
Carbonatos (CO ₃)	me/l	mg/l
Bicarbonatos (HCO ₃)	4.27	260
Cloruros (Cl)	0.23	8
Sulfatos (SO ₄)	0.45	22
Total	4.95	
Cationes		
Calcio (Ca)	me/l	mg/l
Magnesio (Mg)	1.05	13
Sodio (Na)	1.66	38
Potasio (K)	0.18	7
Total	4.95	
Nitratos (mg/l NO ₃)	< 1	
Boro (mg/l B)	0.65	
Dureza total (mg/l CaCO ₃)	155.5	
Calificación	Moderadamente blanda	

Nota: Los datos informados corresponden exclusivamente a la muestra filtrada, remitida por el interesado y comprenden solo algunos del total de parámetros de aptitud para riego y/o pulverizaciones, y de calidad para consumo humano requeridos por el Código Alimentario Argentino para el agua de uso domiciliario. // Sin datos.

Por **TECNOSUELO**
Ing. Agr. Pedro J. Aso



Secretaría de Medio Ambiente y
Desarrollo Sustentable
Subprograma Laboratorio

Informe de Análisis de Agua

Número de muestra: 36786

Interesado : CONHIDRO S.R.L.

Dirección : A. Pacheco N° 1.219 - Tel. 425-1302

**Secretaría
de Medio
Ambiente**
Desarrollo Sustentable
**Gobierno de
Salta**

Datos de la muestra

Punto de muestreo: Directo de pozo

Localidad: Valle Escondido - Salta

Muestreador: Interesado

Tipo de muestra: Aguas de bebida

Lugar: A.T.C (7)

Fecha de muestreo: 18/07/05 Cloro residual: N.S.D mg/l

Análisis fisico-químico

1.- Características químicas

Parámetro	Expresado como	Limite max. tolerable (*)	Resultado	Parámetro	Expresado como	Limite max. tolerable (*)	Resultado
Sólidos totales a 105 °C	---	---	-----	Manganeso	mgMn / L	0,10	< 0,05
Sólidos disueltos a 180 °C	mg / L	1500	302	Amoniaco	mgNH4 / L	0,20	< 0,05
Alcalinidad total	mgCaCO3 / L	800	249	Nitritos	mgNO2 / L	0,10	< 0,02
Dureza total	mgCaCO3 / L	400	151	Nitratos	mgNO3 / L	45	2,5
Calcio	mgCa / L	---	41	Fluoruros	mgF / L	1,7	-----
Magnesio	mgMg / L	---	12	Boro	mgB / L	1	-----
Cloruros	mgCl / L	350	3	Arsénico	mgAs / L	0,05	-----
Sulfatos	mgSO4 / L	400	11	Sodio	mgNa / L	200	50
Hierro total	mgFe / L	0,30	0,23	Potasio	mgK / L	---	4,1
Fosfatos	mgPO4 / L	---	-----	Aluminio	mgAl / L	0,20	-----
Fósforo total	mgP / L	---	-----	Silice	mgSiO2 / L	---	-----

2.- Características físicas

Parámetro	Expresado como	Limite max. tolerable (*)	Resultado	Observaciones Análisis Físico-Químico
Color	u.c	5	2	No presenta excesos de los parámetros analizados.-----
pH a 25 °C	---	6,5 - 8,5	7,25	
Turbiedad	U.N.T	3	2	Corresponde únicamente a la muestra remitida
Conductividad	µs / cm	---	478	

Resultado Análisis Físico-Químico

APTO (Según parámetros analizados) -----

Conclusión final. Ausencia de cloro residual -----

Desarrollado por:

icom
Software

info:icom@salta.gob.ar
(0387) 4225980

(*) Ley Nacional 48.284 (Código Alimentario Argentino Cap. 12 Art. 982)

Fecha de ingreso al laboratorio: 22/07/05

Fecha de salida del Laboratorio: 27/07/05

Fecha: 27/07/05 Firma: _____



Dr. ARMANDO OMAR ZAPATA
LABORATORIO AMBIENTAL
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y DESARROLLO SUSTENTABLE



Secretaría de Medio Ambiente y
Desarrollo Sustentable
Subprograma Laboratorio

Informe de Análisis de Agua

Número de muestra: 36833

Interesado : CONHIDRO S.R.L.
Dirección : A. Pacheco N° 1.219 - Tel. 425-1302



Datos de la muestra

Punto de muestreo: Directo de pozo
Localidad: Salta
Muestreador: Interesado

Tipo de muestra: Aguas de bebida

Lugar: Valle Escondido ATC8

Fecha de muestreo: 09/08/05 Cloro residual: N.S.D. mg/l

Análisis fisico-químico

1.- Características químicas

Parámetro	Expresado como	Límite max. tolerable (*)	Resultado	Parámetro	Expresado como	Límite max. tolerable (*)	Resultado
Sólidos totales a 105 °C	---	---	-----	Manganeso	mgMn / L	0,10	<0,05
Sólidos disueltos a 180 °C	mg / L	1500	277	Amoniaco	mgNH4 / L	0,20	<0,05
Alcalinidad total	mgCaCO3 / L	800	239	Nitritos	mgNO2 / L	0,10	<0,02
Dureza total	mgCaCO3 / L	400	136	Nitratos	mgNO3 / L	45	12,7
Calcio	mgCa / L	---	39	Fluoruros	mgF / L	1,7	-----
Magnesio	mgMg / L	---	10	Boro	mgB / L	1	-----
Cloruros	mgCl / L	350	4	Arsénico	mgAs / L	0,05	-----
Sulfatos	mgSO4 / L	400	12	Sodio	mgNa / L	200	50
Hierro total	mgFe / L	0,30	<0,2	Potasio	mgK / L	---	2,5
Fosfatos	mgPO4 / L	---	-----	Aluminio	mgAl / L	0,20	-----
Fósforo total	mgP / L	---	-----	Silice	mgSiO2 / L	---	-----

2.- Características físicas

Parámetro	Expresado como	Límite max. tolerable (*)	Resultado	Observaciones Análisis Físico-Químico
Color	u.c.	5	<1	No presenta excesos en los parámetros analizados, ausencia de Cloro Residual.-----
pH a 25 °C	---	6,5 - 8,5	6,70	
Turbiedad	U.N.T.	3	0,35	Corresponde únicamente a la muestra remitida
Conductividad	µs / cm	---	439	

Ing. ARMANDO OMAR ZAPATA
LABORATORIO AMBIENTAL
SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE
Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Resultado Análisis Físico-Químico

APTO (Según parámetros analizados)-----

Conclusión final: -----



(*): Ley Nacional 18.284 (Código Alimentario Argentino Cap. 12 Art. 982)

Desarrollado por:

icom
Software

info-icom@salthome.net
(0387) 4225980

Fecha de ingreso al laboratorio: 09/08/05

Fecha de salida del Laboratorio: 17/08/05

Fecha: ___/___/___ Firma: _____

MIRTA VIVIANA SERENELLI
BIOQUIMICA - M.P. 478

Laboratorio Central: induser@induser.com.ar - Tel/Fax (54-11) 4283-4000
 Sede San Juan: administracionsanjuan@induser.com.ar - Tel/Fax (54-0264) 422-9379/4804
 Sede Salta: coordinacionsalta@induser.com.ar - Tel/Fax (54-387) 439-5925
 Sede Neuquén: admneuquen@induser.com.ar - Tel/Fax (54-0299) 448-3129
 Sede Chubut: comriv@induser.com.ar - Tel/Fax (54-0297) 454-8287
 Sede Mendoza: mendoza@induser.com.ar - Tel/Fax (54-0261) 424-1367
 www.induser.com.ar



PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 194763

Fecha de recepción: 19/01/2015

Fecha de emisión: 26/02/2015

Cliente: ANDINA PERFORACIONES S.R.L.
Dirección Fiscal: San Martin 43 - Esq.: Costanera Localidad: Vaqueros (Salta)
Muestra Manifestada: AGUA DE POZO

Cantidad: (1 MUESTRA)
Tomada Remitida: ANDINA PERFORACIONES S.R.L.

Resultados

Muestra: VALLE ESCONDIDO ATC 9

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
pH (*)	UpH	6.9	SM 4500-H B
Turbidez (*)	NTU	< 1.0	SM 2130 B
Conductividad a 25°C	µS/cm	440	SM 2510 B
Color (*)	Esc.Pt-Co	< 5	SM 2120 B
Sólidos Disueltos Totales 180 °C	mg/l	301	SM 2540 C
Sólidos Totales a 105°C	mg/l	332	SM 2540 B
Sólidos Suspendidos (*)	mg/l	< 10	SM 2540-D
Alcalinidad Total	mg/l	227	SM 2320 B
Alcalinidad de Bicarbonato	mg/l	227	SM 2320 B
Dureza Total (*)	mg/l	129	SM 2340 B
Calcio	mg/l	40.0	ISO 14911
Magnesio	mg/l	14.5	ISO 14911
Nitrato (*)	mg/l	< 0.02	SM 4500-NO2 B
Amoniaco (*)	mg/l	< 0.05	SM 4500-NH3 B/C
Cloruro	mg/l	2.0	SM 4110 B
Sulfato	mg/l	< 10.0	SM 4110 B
Nitrato	mg/l	6.9	SM 4110 B
Fluoruro	mg/l	< 0.5	SM 4110 B
Sodio	mg/l	54.0	ISO 14911
Potasio	mg/l	2.5	ISO 14911
Manganeso	mg/l	< 0.03	EPA 6020 A
Hierro	mg/l	< 0.10	EPA 6020 A

Lic. MARCELO FARRAN
 CA - DIRECTOR TÉCNICO

Página 1 de 2

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material base. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser. Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el período de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativas vigentes.

Laboratorio Central: Castelli 1761 C.P. 1842 - Lomas de Zamora (BS. AS.)

Fc-5.10-01-01

Rev.:

Fecha de vigencia: 06/07/05



Jorge Christian Vega Filippin
 M.U.N:272