

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



*“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO MEDIANTE LA
PROSPECCIÓN GEOFÍSICA A TRAVÉS DEL SONDAJE ELÉCTRICO
EN LA COMUNIDAD DE ANCASAYA – ILAVE”*

TESIS

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

HELAR AJROTA MAQUERA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO - PERU

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO MEDIANTE LA
PROSPECCIÓN GEOFÍSICA A TRAVÉS DEL SONDAJE
ELÉCTRICO EN LA COMUNIDAD DE ANCASAYA - ILAVE”

TESIS PRESENTADO POR:

Bach. HELAR AJROTA MAQUERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGRÍCOLA

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE : 
Dr. Eduardo FLORES CONDORI

PRIMER MIEMBRO : 
M. Sc. Roberto ALFARO AJEJO

SEGUNDO MIEMBRO : 
Ing. Marco Antonio RODRIGUEZ MENDOZA

DIRECTOR DE TESIS : 
M. Sc. Germán BELIZARIO QUISPE

PUNO - PERÚ

ÁREA : Ingeniería y Tecnología

2013

TEMA: Modelamiento de aguas subterráneas

LÍNEA: Recursos Hídricos

DEDICATORIA

Con el más abnegado y denotado amor con justo orgullo, dedico este fruto de mi esfuerzo a la inolvidable memoria de mi Padre; Don Antero Genovevo Ajrota Arocutipa y mi Madre; Doña Francisca Maquera Layme, por el constante esfuerzo y comprensión inagotable. Durante mi formación profesional, quienes con afán y desvelo me llevaron por la ruta del saber y del bien.

Así mismo le dedico el presente trabajo a mis hermanos: Hermelinda, Haydee, Roxana, Héctor y Antero Nefталí los cuales me dieron un apoyo moral incondicional durante mi formación, lo cual ha sido el esfuerzo moral por parte ellos hacia mi persona para poder sobresalir durante mi formación.

Así mismo le dedico este trabajo a mi digna esposa Doña Ana Delia Champi Rojas el cual me ha dado todo su apoyo incondicional para poder terminar el presente trabajo con mucha dignidad.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, y a los Docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola, por sus valiosas enseñanzas que se han constituido en el pilar fundamental para mi formación profesional y por haberme formado un profesional eficaz durante el presente mi permanencia en la ciudad universitaria.

Así mismo se le agradece el presente trabajo a los moradores de la comunidad de Ancasaya por haberme permitido realizar el presente trabajo sin perjuicios durante el tiempo que he realizado el presente trabajo de investigación.

Al M. Sc. German BELIZARIO QUISPE en calidad de director de tesis por haberme apoyado incondicionalmente durante la investigación del presente trabajo para que pueda sobre salir y llegar a los resultados certeros, el cual es fruto de esfuerzo en calidad de director de mi trabajo de investigación.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
I. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA, JUSTIFICACION, OBJETIVOS	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. ANTECEDENTES.	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.	4
1.5. HIPÓTESIS.....	4
1.5.1. Hipótesis general	4
1.5.2. Hipótesis específico	4
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. MARCO REFERENCIAL	5
2.1.1. Fuentes de aguas subterráneas	5
2.1.2. Las aguas subterráneas en el Perú	5
2.1.3. Distribución de acuíferos en el Perú	5
2.1.4. Marco legal	8
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	9
2.2.1. Aguas subterráneas.....	9
2.2.2. Acuífero	11
2.2.2.1. Tipos de acuíferos	11
2.2.2.2. Clasificación de los acuíferos	13
2.2.2.3. Principales afluentes de un acuífero.....	13
2.2.2.4. Característica de los acuíferos	15
2.2.3. Prospecciones geofísicos	16
2.2.4. Métodos geofísicos usados en la exploración de aguas subterráneas	17
2.2.5. Prospección eléctrica.....	19
2.2.6. Geoeléctricas.....	20
2.2.7. Métodos de exploración.....	20
2.2.7.1. Prospección eléctrica por el método de la resistividad eléctrica	23
2.2.7.2. Medición de la resistividad eléctrica del subsuelo	26
2.2.7.3. Medida de la resistividad eléctrica	30
2.2.7.4. Resistividad del terreno	31
2.2.7.5. Dispositivos lineales.	33
2.2.7.5.1. Dispositivo Wenner.....	34
2.2.7.5.2. Dispositivo Schlumberger	35
2.2.7.5.3. Dispositivos Dipolares	37
2.2.8. Porosidad	38
2.2.9. Recarga potencial hídrica del acuífero	39
2.2.9.1. Balance del suelo	39
2.2.9.1.1. Fracción de lluvia interceptada por el follaje	40
2.2.9.1.2. Infiltración	40
2.2.9.1.3. Cálculo de infiltración pluvial mensual	44
2.2.9.1.4. Escorrentía superficial	44
2.2.9.1.5. Balance hídrico	45
2.2.9.1.6. Evapotranspiración	46
2.2.9.1.7. Recarga del acuífero	47
2.2.9.1.8. Cálculo de la recarga potencial del acuífero	52
III. MATERIALES Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO	52
3.1. ASPECTOS GENERALES DEL LUGAR	52

3.1.1. Ubicación del lugar de estudio	53
3.1.1.1. Ubicación política.....	53
3.1.1.2. Ubicación geográfica. (Ver plano N° 01).....	53
3.1.1.3. Aspectos generales del área de estudio.....	53
3.1.1.4. Vías de comunicación y acceso a la zona proyecto	53
3.1.1.5. Área del proyecto	53
3.1.1.6. Clima de la zona	54
3.1.1.7. Hidrología de la zona.....	54
3.1.1.8. Infraestructura de servicios básicos de la población	55
3.2. PLANTEAMIENTO TÉCNICO DEL PROYECTO	56
3.2.1. Geología local.....	56
3.3. METODOLOGÍA TÉCNICA DEL ESTUDIO DE PROBLEMA.....	58
3.3.1. Levantamiento topográfico	58
3.3.2. Reconocimiento de campo	58
3.3.3. Material y equipo de campo para el estudio	59
3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN DEL PROBLEMA	61
3.4.1. De la topografía de la zona.....	61
3.4.2. Determinar la resistividad del suelo	61
3.4.2.1. Sondaje eléctrico vertical por el método Schlumberger	61
3.4.2.2. Instrumento empleado para la investigación.	62
3.4.2.3. Metodología de líneas equipotenciales por el método Schlumberger.....	63
3.4.2.4. Intensidad de corriente (I) m-A	64
3.4.2.5. Diferencia de potenciales (ΔV) m-V.....	64
3.4.3. Determinar la características estratificas del suelo.....	66
3.4.4. Determinar la recarga potencial hídrica de acuífero mediante un balance hídrico de suelos.....	67
3.4.4.1. Determinación del balance hídrico del suelo.	67
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1. TRABAJO DE CAMPO	74
4.2. ANÁLISIS DE RESISTIVIDAD DE TERRENO	74
4.2.1. Cuadro de resultados de resistividad de terreno	74
4.2.1.1. Columnas geológicas de resistividad de terreno.	75
4.3. ANÁLISIS DE ESTRATIFICACIÓN DEL SUELO	78
4.3.1. Análisis y descripción de columnas geoeléctricas hidrogeológicas	78
4.3.2. Correlación geología - geofísica.	79
4.4. RECARGA POTENCIAL DEL ACUIFERO	88
4.4.1. Prueba lámina de infiltración	88
4.4.2. Determinación de capacidad de campo.....	93
4.4.3. Determinación de punto de marchitez	93
4.4.4. Determinación de densidad aparente	93
4.4.5. Ubicación de zonas favorables para la perforación de pozo de explotación de agua subterránea	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXO I: Datos de precipitación pluvial, temperaturas y hora sol.....	101
ANEXO II: Interpretaciones graficas de resistividad de terreno.....	105
ANEXO III: Columnas hidrogeológicas.....	114
ANEXO IV: Secciones geológicas.....	122
ANEXO V: Panel fotográfico.....	129
ANEXO VI: Planos	133

CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Métodos geofísicos utilizados en exploración de aguas subterráneas.....	21
Cuadro 2. Principales áreas de aplicación para distintos métodos geofísicos Área de aplicación Métodos apropiados de exploración geofísica	22
Cuadro 3. Cuadro de distancia y tiempo al Área de Estudio.....	52
Cuadro 4. Promedios de precipitación mensual (mm) y temperaturas Medias mensuales (°C), en el distrito de llave del año 2011 - 2012.....	52
Cuadro 5 Tipo de SEV - Dispositivo Schlumberger.....	60
Cuadro 6 Coordenadas Utm Psad 56 y altitud de los sondajes eléctricos verticales (SEV).....	72
Cuadro 7 Resistividad de terreno mediante el sondaje eléctrico vertical.....	72
Cuadro 8 Prueba de infiltración com. Ancasaya 01.....	85
Cuadro 9 Prueba de infiltración com. Ancasaya 02.....	86
Cuadro 10 Prueba de infiltración com. Ancasaya 03.....	87
Cuadro 11 Prueba de infiltración com. Ancasaya 04.....	88
Cuadro 12 Prueba de infiltración com. Ancasaya 05.....	89
Cuadro 13 Resumen de lámina de infiltración acumulada fc.....	89
Cuadro 14 Determinación de capacidad de campo.....	90
Cuadro 15 Determinación de punto de marchitez.....	90
Cuadro 16 Determinación de densidad aparente.....	90
Cuadro 17 Calculo de recarga potencial de acuífero mediante el balance de suelo.....	90

MAPAS

	pág.
Mapa 1. Mapa hidrogeológica del Perú.....	6
Mapa 2. Ubicación de los principales acuíferos en el Perú.....	7

TABLAS

	pág.
Tabla 1. Variaciones de la resistividad en función de la porosidad.....	24
Tabla 2. Resistividad de algunas rocas.....	25
Tabla 3. Intervalo de porosidad representativa para materiales sedimentarios subterráneos.....	37
Tabla 4. Componentes de coeficiente de infiltración.....	42
Tabla 5 Punto de marchitez y capacidad de campo en % por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelo.....	43
Tabla 6 Profundidad de raíces de frentes cultivos.....	44

GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Promedios de precipitación mensual (mm) y temperaturas medias mensuales (°C), en el distrito de llave 2012.....	53
Gráfico 2. Prueba lámina de infiltración N° 01.....	85
Gráfico 2. Prueba lámina de infiltración N° 02.....	86
Gráfico 3. Prueba lámina de infiltración N° 03.....	87
Gráfico 4. Prueba lamina de infiltración N° 04.....	88
Gráfico 5. Prueba lamina de infiltración N° 05.....	89
Gráfico 6. Representación Gráfica SEV 01.....	102
Gráfico 7. Representación Gráfica SEV 02.....	103
Gráfico 8. Representación Gráfica SEV 03.....	104
Gráfico 7. Representación Gráfica SEV 04.....	105
Gráfico 7. Representación Gráfica SEV 05.....	106
Gráfico 8. Representación Gráfica SEV 06.....	107

FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema de acuífero no confinado planta.....	12
Figura 2 Esquemas de acuífero confinado	12
Figura 3 Tipos de acuíferos.....	14
Figura 4 Medida de resistividad en laboratorio.....	26
Figura 5 Medida de resistividad en laboratorio.....	27
Figura 6 Perfiles litológicos y de resistividad en perforación.....	27
Figura 7 Flujo eléctrico en medio isótropo y homogéneo.....	27
Figura 8 Dispositivos con cuatro polos para medir las resistividades método.....	29
Figura 9 Localización de hilillos de cuatro polos de Schlumberger.....	30
Figura 10 Dispositivo tetraelectródico para la medida de la resistividad del suelo.....	31
Figura 11 Flujo eléctrico en medio natural.....	32
Figura 12 Dispositivos lineales.....	33
Figura 13 Dispositivo de Wenner.....	34
Figura 14 Dispositivo de Schlumberger.....	34
Figura 15 Dispositivo dipolares.....	36
Figura 16 Estructuras geológicas de calizas Ayabacas.....	55
Figura 17 Reconocimiento de área de estudio.....	57
Figura 18 Esquema de disposiciones electródica de un SEV.....	60
Figura 19 Georesistivimetro de prospeccion geofisica.....	61
Figura 20 Resistividad aparente del terreno.....	62
Figura 21 Instalacion de SEV 06.....	63
Figura 22 Representación gráfica de los registros.....	64

COLUMNAS Y SECCIONES GEOLOGICAS

	pág.
Lamina 1. Columna geológica SEV 01.....	109
Lamina 2 Columna geológica SEV 02.....	110
Lamina 3 Columna geológica SEV 03.....	111
Lamina 4 Columna geológica SEV 04.....	112
Lamina 5 Columna geológica SEV 05.....	113
Lamina 6 Columna geológica SEV 06.....	114
Lamina 7 Sección geoelectricas hidrogeológica subterránea A1-A2.....	116
Lamina 8 Sección geoelectricas hidrogeológica subterránea B1-B2.....	117
Lamina 9 Sección geoelectricas hidrogeológica subterránea C1-C2.....	118
Lamina 10 Sección geoelectricas hidrogeológica subterránea D1-D2.....	119
Lamina 11 Sección geoelectricas hidrogeológica subterránea E1-E2.....	120

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como propósito realizar el estudio geofísico y la recarga potencial del acuífero en la comunidad de Ancasaya, en vista que las familias asentadas en la zona de estudio vienen careciendo de elemento líquido entre los meses agosto a diciembre, este caso se viene generando hace más de 20 años atrás, por lo que se determina el estudio geofísico y la recarga potencial del acuífero con fines de aprovechamiento de agua para consumo humano. Con el presente estudio geofísico se ha podido determinar la resistividad del suelo y la estratificación del suelo. Para determinar la recarga potencial del acuífero de la zona de estudio se ha obtenido datos directamente del campo como son: capacidad de campo, marchitez permanente, la infiltración. Una vez realizado el presente trabajo de investigación se llegan a obtener resultados como son resistividad entre 93 a 373 conformado de gravas, gravillas en matriz de arenas y limos interpretados como acuífero libre con espesor de 47 ml. Se han obtenido formaciones geológicas conformadas de diferentes tipos de estratos a las cuales se les denominan: horizontes 01 capa superficial compuesta de materia orgánica y arcillas con limos, horizonte 02 capa subyacente compuesta de gravas, gravillas, arenas interpretado como acuíferos con espesor que varía entre, horizonte 03 capa compuesta de gravillas en matriz de arena. De la recarga potencial del acuífero: Se obtiene que en la zona de estudio se tiene una recarga potencial acuífera favorable obteniendo un resultado de 185.58 mm/año.

ABSTRACT

This thesis aims to perform the geophysical survey and aquifer recharge potential Ancasaya community, given that the families living in the study area are lacking liquid element between the months August to December, this case has generated over 20 years ago, so the geophysical survey and aquifer recharge potential use purposes of drinking water is determined. With this geophysical survey has been able to determine the soil resistivity and soil stratification. To determine aquifer recharge potential of the study area has been obtained directly from field data such as field capacity, wilting, infiltration. Once the present research will come to get results such as resistivity between 93 - 373 consisting of gravel, sand gravel matrix and silt interpreted as unconfined aquifer thickness of 47 ml. Geological formations are obtained formed of different types of layers to which they are named: 01 horizons surface layer composed of organic material and clay loams horizon underlying layer 02 consisting of gravel , grit , sand interpreted as aquifers with thickness ranging between horizon 03 layer composed of sandy gravel matrix. Of potential aquifer recharge: Obtained in the study area has a potential aquifer recharge obtaining a positive result of 185.58 mm / year.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio de prospección geofísica es interesante en la mayoría de las entidades financieras ya sean con fines hidrogeológicos, minerías y con fines de prospección gasíferas y petróleo por lo que han optado este estudio por su bajo costo y con resultados certeras para plantear el aprovechamiento de recursos subterráneos. Por lo que se ha visto que en la zona de estudio no se puede plantear proyectos de saneamiento ya que no cuentan con una fuente de abastecimiento por la propia topografía de la zona e estudio, en vista que en la actualidad viven más de 150 familias asentadas por lo que la mayoría de estos sus hijos vienen emigrando a otras ciudades esto a causa de la deficiencia y la carencia de servicios básicos como son el sistema de agua potable y sistema desagüe. Por lo que el presente estudio es de suma importancia en vista que en la actualidad las entidades gubernamentales vienen gestionando proyectos de saneamiento básico en favor de comunidades a que puedan contar con una fuente de abastecimiento de agua cosa que no existe en la zona de estudio, y los manantes tienden a secarse entre los meses de agosto a diciembre y no se puede plantear ningún tipo de proyectos de saneamiento básico así mismo en la zona de estudio se vienen perforando pozos tipo caízon el cual por su alto costo no pueden ser atendidos a cada familia.

I. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA, JUSTIFICACION, OBJETIVOS

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La insuficiencia de agua superficial (manantes) para fines de consumo humano, es el problema principal en las zonas rurales del departamento de Puno y más que toda en la provincia de El Collao llave en vista que esto viene generándose desde hace más de 20 años atrás, en donde se observa la carencia de este elemento líquido, por lo que es necesario realizar un estudio preliminar para poder plantear la explotación adecuada de aguas subterráneas y su mejor distribución. Actualmente la zona de estudio no cuentan con suficiente agua superficillas en vista que los manantes existentes tienden a desaparecer entre los meses de setiembre a diciembre por lo que no es suficiente abastecer a más de 150 familias asentadas en dicha comunidad.

FORMULACION DEL PROBLEMA

¿De qué manera se puede identificar el potencial hídrico mediante la prospección geofísica en la comunidad de Anasaya - llave?

¿Cuál es la resistividad del suelo?

¿Cuál es la estratificación de suelo?

¿Cuál es la recarga potencial de acuífero en la comunidad de Ancasaya?

¿De qué manera podemos plantear la explotación de agua subterránea mediante pozo tubular?

1.2. ANTECEDENTES.

Durante el año 2010 la empresa Geoexplora estudios realiza *el estudio hidrogeológico – pozo tubular abastecimiento de agua sector barrio san Sebastián y barrio santa bárbara; obra: “instalación y ampliación del sistema de agua potable y alcantarillado en los barrios urbano marginales de la zona norte de la ciudad de llave, Provincia de El Collao – Puno* en el pozo tubular existente en el margen derecho de la cuenca del rio llave en donde indica en los resultados obtenidos que el manto *acuífero* se encuentra a una profundidad de 7.00 ml del nivel de terreno el manto acuífero y un espesor de 39 ml de la columna de agua y está emplazada en un diámetro mayor de 250 metros

lineales de nivel de abatimiento, dicho estudio se encuentra a una distancia de 3 km del área de estudio.

En el año del 2010 el gobierno regional puno plantea la perforación de pozo tubular de 8" para abastecimiento de agua potable para el Instituto superior tecnológico público – llave en la comunidad de Chilacollo a través de Solaris Perú se realiza el estudio de sondaje eléctrico vertical para dicha perforación, el cual indica según los resultados que el manto *acuífero y acuicludo* se encuentra a 12.00 metros de profundidad de acuerdo a los resultados analizados se plantea efectuar la perforación de un pozo, a 45 metros de Profundidad con un nivel de abatimiento de 250 ml de radio.

La municipalidad provincial de El Collao a través de Solaris Perú plantea la perforación de pozo tubular de explotación de aguas subterráneas con fines de aprovechamiento de agua potable en la comunidad de San Juan de Huinihuinini a 12 km de la zona de estudio, realiza el sondaje eléctrico vertical para dicho trabajo en donde se ha obtenido acuífero a una profundidad de 25 metros del nivel de terreno y se plantea la perforación de pozo tubular a una profundidad de a 85 ml y con un nivel de abatimiento de 285 ml de radio.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La zona de estudio en la actualidad se dedica netamente a la actividad agrícola y pecuaria además solo cuenta con rio intermitente el cual solo se presenta durante épocas de precipitaciones pluviales. por lo cual es necesario realizar dicho estudio y plantear la explotación de aguas subterráneas, la importancia de este estudio que permita plantear proyectos de saneamiento básico como es el **“sistema de agua potable”** y como segunda alternativa plantear “proyectos de riego tecnificado” de en vista que sus resultados son cada vez más exactos, permitiendo la no distracción de recursos económicos, humanos, materiales destinado a ellos por la exactitud que arrojan, además este tipo de estudios tienen un carácter social. Ante estas situaciones se toma acción, para la investigación de perfil litológico del suelo por el egresado de la escuela profesional de ingeniería agrícola.

1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.4.1. Objetivo general.

- Determinar del potencial hídrico mediante la prospección geofísica a través del sondaje eléctrico en la comunidad de Ancasaya – llave.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar la resistividad del suelo.
- Determinar la estratificación del suelo.
- Determinar la recarga potencial del acuífero
- Plantear la ubicación y la profundidad de pozo de explotación.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

- El potencial hídrico es favorable en la comunidad de Ancasaya.

1.5.2. Hipótesis específico

- La resistividad del suelo indica que son viables las características hidrogeológicas del suelo.
- Las características estratificas del suelo son favorables.
- La recarga potencial del acuífero es favorable en la zona de estudio.
- La ubicación y la profundidad es útil en comunidad de Ancasaya.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. MARCO REFERENCIAL

2.1.1. Fuentes de aguas subterráneas

Boletín ANA (2010), el agua subterránea, en el Perú es una fuente de suministro para uso agrícola, doméstico, industrial y pecuario; existiendo el peligro de sobreexplotación en los valles de Ica, Pisco, Chincha, La Yarada en Tacna y la Leche en Lambayeque.

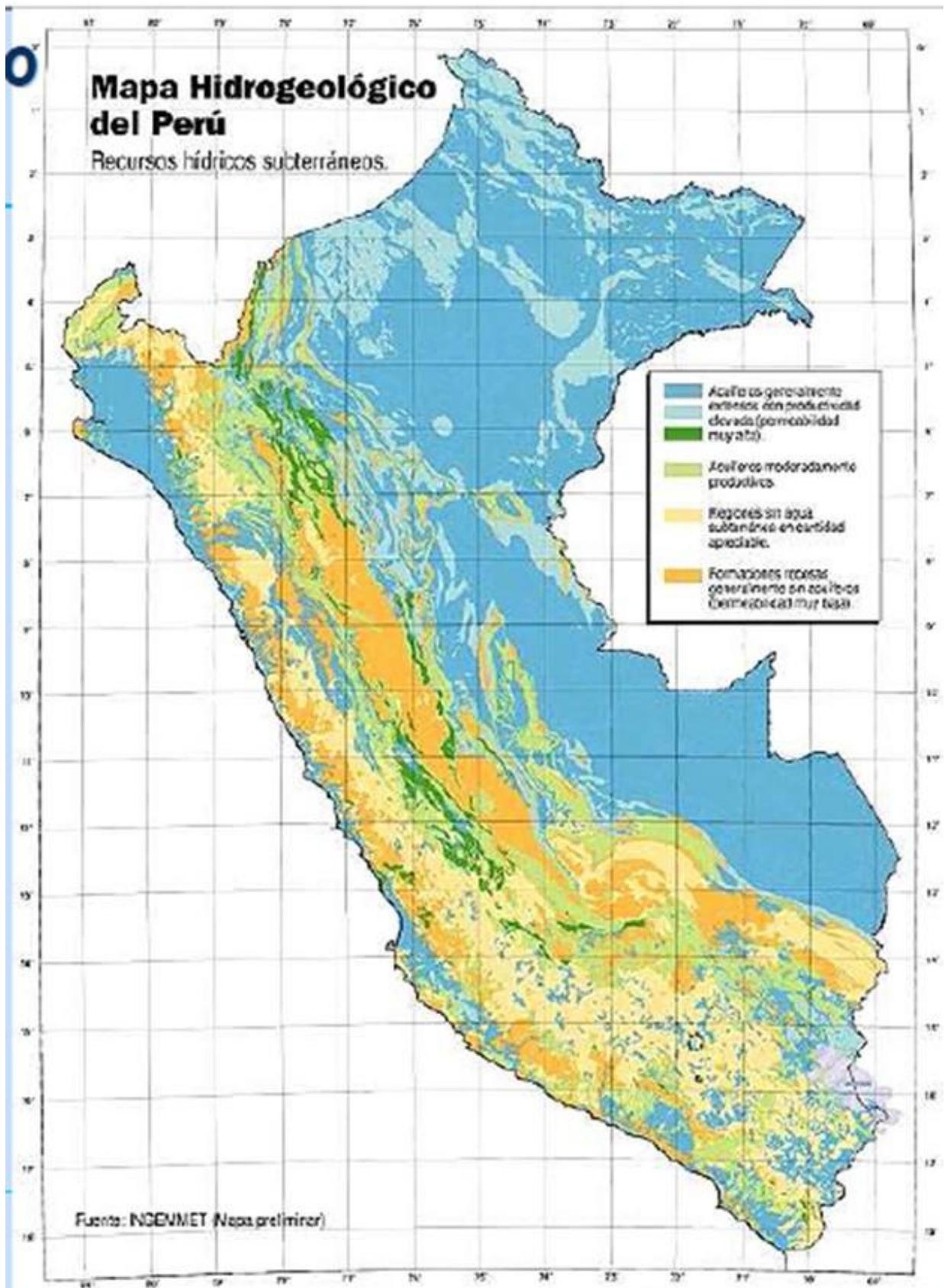
2.1.2. Las aguas subterráneas en el Perú

Boletín ANA (2010), el Perú está sobre "un colchón de agua". Y la mayor cantidad de reservas hidrogeológicas se encuentran en selva peruana. Esto debido a la mayor cantidad de y vegetaciones ya que las vegetaciones permiten la infiltración de agua el suelo al retenerlos luego de una precipitación pluvial el mismo está diseñadas mediante imágenes satelitales (mapa 01)

Según WELLMANN (2010), las aguas subterráneas paradójicamente son casi desconocidas y están prácticamente inexploradas en la costa y sierra del Perú. Inrena estima reservas totales de entre 35 y 40.000 millones de m³ de agua subterránea contenidas en napas de las cuencas costeras y altiplánicas del Perú. Sin embargo, al año 2004 sólo había efectuado mediciones en 8 valles costeras y 6 cuencas altiplánicas del Perú, donde había determinado un volumen total de 9.025 millones de m³ de existencia de aguas en el subsuelo. No se han hecho estudios que determinen la recarga o renovación de los acuíferos estudiados, y el balance hídrico que determine su sustentabilidad y la seguridad de su abastecimiento a largo plazo

2.1.3. Distribución de acuíferos en el Perú

Boletín ANA (2010), la autoridad nacional del agua viene realizando una serie de investigaciones a través de los inventarios de fuentes de aguas subterráneas, monitoreo, estudios hidrogeológicos y modelamiento de los principales acuíferos (mapa 02)



Mapa 01: Mapa hidrogeológico del Perú (fuente; recursos hídricos subterráneos en Perú ANA 2010)



Mapa 02. Ubicación de los principales acuíferos (fuente; boletín técnico de recursos hídricos en el Perú 2010 del ANA)

2.1.4. Marco legal

Ley de recursos hídricos

LEY N° 29338

TÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- El agua

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación.

Artículo 2.- Dominio y uso público sobre el agua

El agua constituye patrimonio de la Nación. El dominio sobre ella es inalienable e imprescriptible. Es un bien de uso público y su administración solo puede ser otorgada y ejercida en armonía con el bien común, la protección ambiental y el interés de la Nación. No hay propiedad privada sobre el agua.

Artículo 3.- Declaratoria de interés nacional y necesidad pública

Declárase de interés nacional y necesidad pública la gestión integrada de los recursos hídricos con el propósito de lograr eficiencia y sostenibilidad en el manejo de las cuencas hidrográficas y los acuíferos para la conservación e incremento del agua, así como asegurar su calidad fomentando una nueva cultura del agua, para garantizar la satisfacción de la demanda de las actuales y futuras generaciones.

Artículo 5.- El agua comprendida en la Ley

El agua cuya regulación es materia de la presente ley comprende lo siguiente:

- La de los ríos y sus afluentes, desde su origen natural
- La subterránea
- La de origen minero medicinal
- La de origen minero medicinal

- La geotermal
- La atmosférica

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Aguas subterráneas

Según VILLON (2011), el agua subterránea el agua que ocupa todo los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático. El agua subterránea proviene de la infiltración directa en el terreno de las lluvias o nieves, o indirectas de ríos y lagos.

Para MORAN (1992), es de gran importancia, especialmente en aquellos lugares secos donde el escurrimiento fluvial se reduce mucho en algunas épocas del año se estima que en estados unidos, de toda el agua que se usan al año, una sexta parte es agua subterránea, en lima, por otro lado, del total de agua que se- consume un 40% proviene del subsuelo

Según CANDIA (2002), el agua subterránea es aquella que se encuentra por debajo de la superficie del terreno se encuentra en la zona de saturación. El agua subterránea está siempre en movimiento por acción de la gravedad, escurre en forma paralela al relieve existente.

Según MONSALVE (1995), indica que una vez que el volumen de agua lluvia que se infiltra ha suministrado la humedad que el suelo necesita para llegar a su capacidad de campo, el agua gravitacional comienza a drenar, y parte de ella logra llegar hasta la zona saturada.

Para LINSLEY (1977), indica que, el agua subterránea es relativamente libre de contaminación y es particularmente útil para su uso doméstico en pueblos pequeños. En regiones áridas, el agua subterránea es frecuentemente la única fuente segura de abastecimiento para irrigación. Dado que las temperaturas del agua subterránea son relativamente bajas.

Según ROSSEL, CHOQUE, JULIO, (1992), define, el origen de las aguas subterráneas se relaciona con el ciclo hidrológico, dado que un 10% aproximadamente de lluvia se infiltra en el suelo y termina alimentando la napa freática. Las aguas subterráneas tienen una importancia creciente, por los

fenómenos de polución, contaminación y agotamiento de las aguas superficiales.

Según SERRUTO, (1987), sostiene que, la fuente principal de alimentación del agua subterránea es la precipitación, o también de entrar a las corrientes superficiales y percolarse desde esos cauces hacia el agua del subsuelo.

Según SANTAYANA, manifiesta que, el agua subterránea es aquella que se encuentra, dentro del ciclo hidrológico, yaciendo bajo la superficie del suelo, en condiciones de saturación. El agua subterránea proviene de la infiltración del agua superficial; que luego se mueve, al interior del suelo, en forma vertical descendente (percolación) hasta alcanzar la napa subterránea (zona saturada del suelo).

Según LINSLEY y otros (1994), menciona que en una sección transversal esquemática de la parte superior de la corteza terrestre con una columna idealizada que muestra una clasificación común del agua subterránea. Las dos regiones principales están separadas por una superficie irregular llamada nivel freático.

Para CHAVEZ (1994), menciona que las aguas subterráneas se derivan, directa o indirectamente de las lluvias. La mayor parte de las aguas caídas se infiltran en suelos, subsuelos y estratos profundos de donde se deduce que las características geológicas de la cuenca son fundamentales para tal proceso

Para VÉLEZ (1999), el agua subterránea es utilizada para el abastecimiento de agua potable, tanto en viviendas individuales, como en aglomeraciones urbanas, en proyectos agropecuarios para riego y para uso animal; igualmente, muchas industrias consumidoras de grandes cantidades de agua hacen uso de este recurso

Para BARRIALES (2006), localizar agua subterránea significa establecer dónde ésta tiene lugar en condiciones tales que permitan su rápido acceso a un pozo para que realmente sea de utilidad. Las maneras prácticas de conseguir lo anterior, incluyen la aplicación de conocimientos científicos, experiencia en perforación de pozos y sentido común.

Para ORDOÑEZ (2011), es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales

2.2.2. Acuífero

Según SERRUTO (1987), menciona que, las formaciones que contienen y transmiten agua subterránea se denomina acuífero. La cantidad o volumen de agua subterránea que puede obtenerse en una cierta área, depende del carácter del acuífero subyacente y de la cantidad de frecuencia de la recarga.

Según ROSSEL, y Otro; (1992), define que, las capas relativamente porosas y permeable en las cuales se acumula el agua subterránea se denominan “acuíferos”.

Según AROCHA, menciona al acuífero aquellas formaciones geológicas capaces de contener agua y de permitir su movimiento a través de sus poros, cumpliendo dos funciones (almacenar y conducirla).

Según LYNSLEY y otros (1994), menciona que es una formación geológica que contiene agua y que la transmite de un punto a otro en cantidades suficientes para permitir su desarrollo económico recibe el nombre de acuífero.

Para ORDOÑEZ (2011), un acuífero es un volumen subterráneo de roca y arena que contiene agua. El agua subterránea que se halla almacenada en los acuíferos es una parte importante del ciclo hidrológico. Se han realizado estudios que permiten calcular que aproximadamente el 30 por ciento del caudal de superficie proviene de fuentes de agua subterránea

2.2.2.1. Tipos de acuíferos

Para MORAN (1992), las formaciones que contienen y transmiten agua del subsuelo reciben el nombre de acuíferos. Los tipos principales son 2: no confinados y confinadas

- a) **Acuíferos no confinados:** una formación como la representada en la (figura 01) constituye un acuífero no confinado. Si se perforan pozos de observación hasta el estrato impermeable, el lugar geométrico de los niveles alcanzados es el nivel freático. El flujo es

libre como en los canales; la línea de energía es siempre descendente en el sentido del flujo; el nivel freático sigue más o menos las mismas variaciones de la superficie.

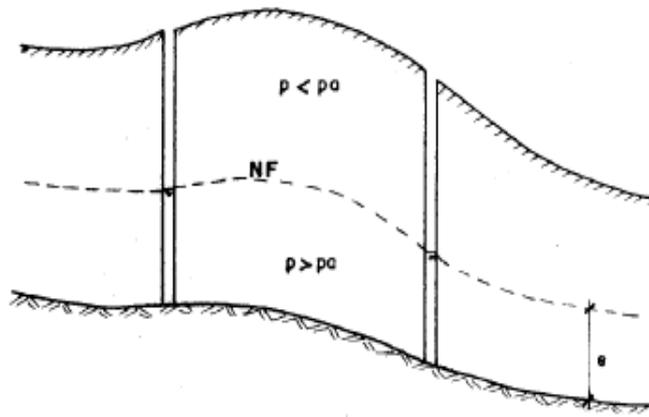


Fig. 01: Esquema de acuífero no confinado planta

b) Acuíferos confinados: son acuíferos comprendidos entre dos estratos impermeables (fig. 02). El flujo es a presión, como en las tuberías. Los acuíferos confinados presentan las ventajas de conducir el agua a grandes distancias y entregar el agua por encima del nivel del acuífero, y las desventajas de tener áreas de recarga relativamente pequeñas rendir menos agua y provocar asentamientos de 1 terreno en los lugares de extracción (pozos de bombeo).

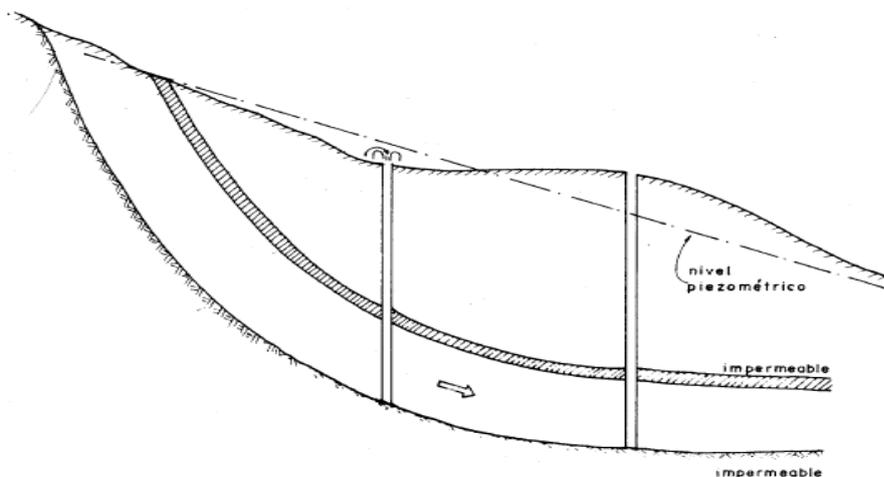


Fig. 02: Esquemas de acuífero confinado

Para OTÁLVARO (1999), los acuíferos pueden presentarse en cuatro distintas formaciones geológicas:

- a) Depósitos de gravas y arenas no consolidadas, intercalados frecuentemente con estratos de limos y arcillas, con pocas unidades de carbonatos.
- b) Formaciones consolidadas y semiconsolidadas de conglomerados y areniscas, que tienen permeabilidad y porosidades primarias (intergranulares) y secundarias (fracturas y diaclasas).
- c) Formaciones carbonatadas que tienen fisuras y fracturas, que pueden ensancharse por disolución. Tienen porosidades y permeabilidades primarias muy pequeñas.

2.2.2.2. Clasificación de los acuíferos

- a) **Acuíferos libres.** Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros. (fig. 03)
- b) **Acuíferos confinados.** Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos. (fig. 03)
- c) **Acuíferos semiconfinados.** Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua

2.2.2.3. Principales afluentes de un acuífero

a) Precipitación

Para VILLON (2011), es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios

concernientes al uso y control del agua. La definición de precipitación puede ser: lluvia, granizada, garuas, nevadas.

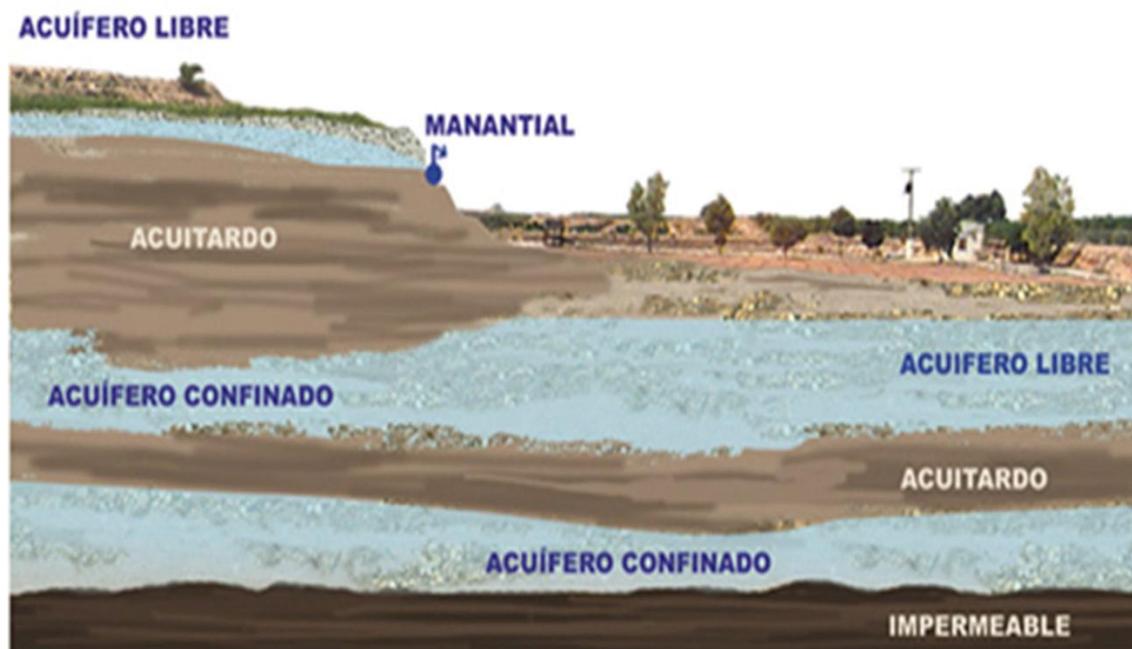


Fig. 03: Tipos de acuíferos (Fuente: www.marm.es/sia/visualizacion/lda/fisico/hidrogeologia_acuiferos.jsp)

Según MORAN (1992), se define precipitación a toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación. En estados unidos, la lluvia se identifica según su intensidad, en:

- Ligera, para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h
- Moderada, desde 2.5 hasta 7.6 mm/h
- Fuerte, por encima de 7.6 mm/h

Para MIJARES (1992), la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus ediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua.

Para CHOW y Otros (1994), la precipitación incluye la lluvia la nieve y otros procesos mediante cuales el agua cae en la superficie terrestre tales como son granizos y neviscas, la precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmosfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condénense.

Para BATEMAN (2007), es la que determina la entrada de mayor aportación de agua a la cuenca, determina su cantidad y frecuencia y entre otras cosas su calidad es en forma de humedad que llega a la superficie terrestre, ya sea lluvia, nieve, granizo, niebla, rocío, etc.

2.2.2.4. Característica de los acuíferos

Para ORDOÑEZ (2011), la propiedad de los acuíferos de contener agua, está gobernada por varios factores: porosidad, permeabilidad, transmisibilidad específica y coeficiente de almacenamiento. Conocer estas características permite evaluar la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro a agotarlo.

- **Porosidad (n)**

Como las rocas no son completamente sólidas (poseen grietas o espacios intergranulares), y al conjunto de estas aberturas o intersticios se le llama porosidad. La porosidad no define la existencia del acuífero, sino que además se requiere de estos estén interconectados; característica que se ve afectada por los factores siguientes:

Grado de comparación del material, forma y arreglo de las partícula y su gradación, las cuales son independientes del tamaño de las mismas. El valor de “ n ”, varía de 0 a 50%, dependiendo de los factores mencionados

- **Permeabilidad (K)**

Es la propiedad de las rocas de permitir o no el flujo del agua; es decir, un estrato geológico siendo poroso puede contener agua, pero si los espacios vacíos no se interconectan, el agua no circula.

Esta libertad de movimiento depende de: tamaño y forma de las partículas, gradación del material y viscosidad del agua. El coeficiente de permeabilidad de un material, se define como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una sección de acuífero de área unitaria (1 m²), cuando el gradiente hidráulico es unitario y la temperatura este en promedio de 15°C.

La permeabilidad tiene dimensiones de velocidad m/día o m³/día/m².

- **Transmisibilidad o transmisividad (T)**

Es una medida de la capacidad de un acuífero para conducir agua o transmitir agua, definiéndose como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario, extendida en todo el espesor saturado, cuando el gradiente hidráulico es unitario y a una temperatura de 15°C.

- **Coeficiente de almacenamiento (S)**

Es adimensional. Se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico. Se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero, de sección igual a la unidad y altura la del espesor saturado, si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico.

En acuíferos confinados los valores típicos se encuentran entre 0.00005 y 0.005, mucho menores que la porosidad eficaz de un acuífero libre (ver abajo). Esto se debe a que en un acuífero confinado el agua no es liberada por el drenaje de los intersticios sino por la compresión del acuífero, en particular de las capas de arcillas y limos intercaladas, (por eso también denominado coeficiente de almacenamiento elástico), y todo el material acuífero permanece saturado

2.2.3. Prospecciones geofísicas

Para SANCHEZ (2009), la geofísica estudia distinguir o reconocer las formaciones geológicas que se encuentra en la profundidad mediante un parámetro físico. El cual puede ser: en sísmica por la variación de las ondas, en prospección eléctrica por la resistividad

Según PARRAGUIRRE (2002), la geofísica estudia la distribución con profundidad de alguna determinada propiedad físico-química de las capas que constituyen el subsuelo, o de alguna característica relacionada con dichas propiedades. En esencia la prospección geofísica consistirá en determinar las variaciones de dicha propiedad sobre la zona a explorar. Las divergencias o anomalías del valor normal que sería de esperar en la zona de investigación respecto del valor real encontrado, nos indicarán, en general, la presencia en profundidad de estructuras geológicas o acumulaciones de minerales que pueden ser de interés.

2.2.4. Métodos geofísicos usados en la exploración de aguas subterráneas

Según BARRIALES (2006), se clasifican en

- **Método gravimétrico:** Los estudios de las variaciones naturales de la fuerza de la gravedad se emplean regularmente en las prospecciones petrolíferas y en las investigaciones teóricas acerca de la estructura terrestre. Son relativamente rápidos y baratos, a condición de, que se hayan nivelado previamente las estaciones en que se va a medir. Los instrumentos que se utilizan son fundamentalmente de tres tipos: *péndulos*, *gravímetros* y *balanzas de torsión*. En el caso del péndulo, se mantiene constante su longitud, por lo que las diferencias observadas en el período, en las distintas estaciones, se pueden relacionar con las variaciones de la gravedad.
- **Métodos sísmicos:** Son los métodos geofísicos más exactos, estos métodos no miden un campo natural de las fuerzas, virtualmente estático, sino la reacción de las masas geológicas frente a vibraciones inducidas artificialmente. Estas vibraciones se detectan a distancias diferentes y según varias direcciones de la fuente de energía, mediante pequeños sismómetros, llamados habitualmente *geófonos* o detectores, los cuales permiten registrarlas sobre papel fotográfico o en cintas magnéticas.
- **Métodos eléctricos:** La resistividad de los materiales naturales varía ampliamente. En tanto que en el granito compacto puede alcanzar valores del orden de 10^6 ohm-m, en las arcillas saturadas de agua salada puede llegar a sólo 1,0 ohm-m. En general, los minerales sólidos, tales como el cuarzo y el feldespato, son altamente resistivos, mientras que las salmueras tienen las más bajas resistividades, se utilizan distintas configuraciones electrónicas, entre las cuales están las de *Wenner* y de *Schlumberger* son las más comunes
 - a) El dispositivo Wenner tiene la ventaja de ofrecer una relación más directa entre la separación de los electrodos y la profundidad de penetración de la corriente

- b) La configuración Schlumberger, para una separación dada de los electrodos exteriores, permite una definición más clara de las condiciones del subsuelo, necesitándose menos peones debido a que los electrodos centrales no se desplazan en cada medida

Para AUGÉ (2008), se clasifican en:

- **Método gravimétrico:** Basado en el campo natural de gravedad, estudia la variación de la componente vertical del campo gravimétrico terrestre. Los pliegues como anticlinales, harán aumentar localmente la fuerza de la gravedad en sus proximidades (siempre que su densidad media sea mayor que la circundante), mientras que los domos de sal, de densidad baja, la disminuirán.
- **Métodos magnéticos:** La tierra es un imán natural y da lugar al campo magnético terrestre. Las pequeñas variaciones de este campo, pueden indicar la presencia en profundidad de sustancias magnéticas, que en algunos casos pueden ser minerales de interés comercial como magnetita (Fe_3O_4), pirrotina, ilmenita, jacobsita, etc.
- **Métodos sísmicos:** Estos se inician en la segunda década del siglo XX como una continuación natural de la sismología, ciencia dedicada a la medición de ondas sísmicas de origen natural como sismos o terremotos.
- **Métodos eléctricos:** Utilizan las variaciones de las propiedades eléctricas de las rocas, y minerales, en especial su resistividad. Generalmente, excepto en los métodos: autopotencial, telúrico y AFMAG que utilizan campos eléctricos naturales, emplean un campo artificial eléctrico creado en la superficie, por el paso de una corriente en el subsuelo.

Otros **métodos:** existen otros métodos que los consideramos como complementarios. Se trata de los métodos radiactivo, geoquímico y geotérmico, que se basan respectivamente en el estudio de las propiedades radiactivas, químicas y térmicas de las diferentes rocas y minerales

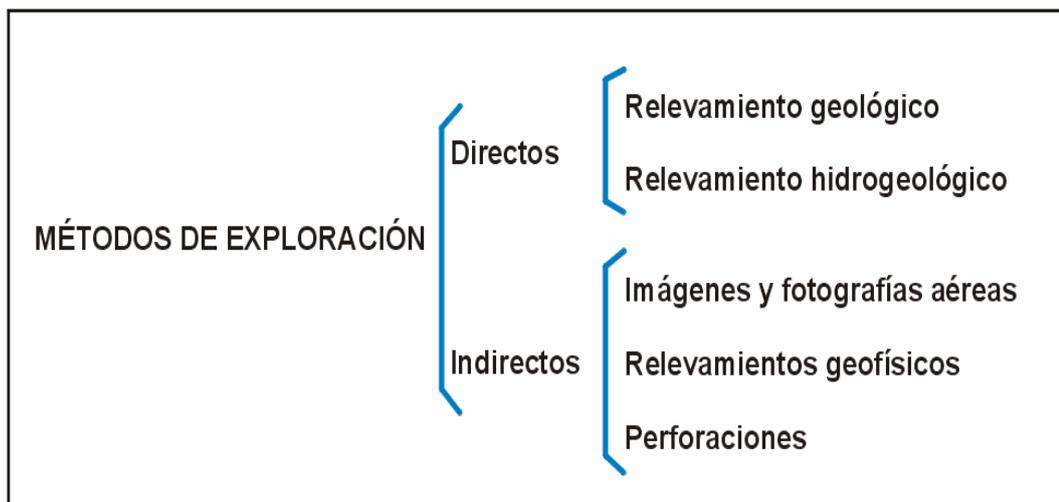
2.2.5. Prospección eléctrica

Según CASTANY (1975), menciona que los métodos de prospección eléctrica estudian las variaciones del campo eléctrico o electromagnético cuando se hace pasar una corriente eléctrica en el suelo.

Según CEGARRA (2007), la utilización de estos métodos nos permite medir los potenciales, corrientes y campos electromagnéticos que ocurren naturalmente o son inducidos artificialmente en la superficie de la tierra. La importancia de estos métodos radica en la identificación de formaciones geológicas que se encuentran en las profundidades mediante la utilización de los parámetros eléctricos y dentro de esta metodología los sondeos eléctricos verticales surgen como principales herramientas para delimitar la variación de los suelos.

Para SÁNCHEZ (2008), consiste en la inyección de corriente eléctrica a través del suelo, midiendo en superficie la diferencia de potencial ocasionada por esta. El método es apropiado para los estudios de agua subterránea en acuíferos que estén a menos de 500 m de la superficie del terreno.

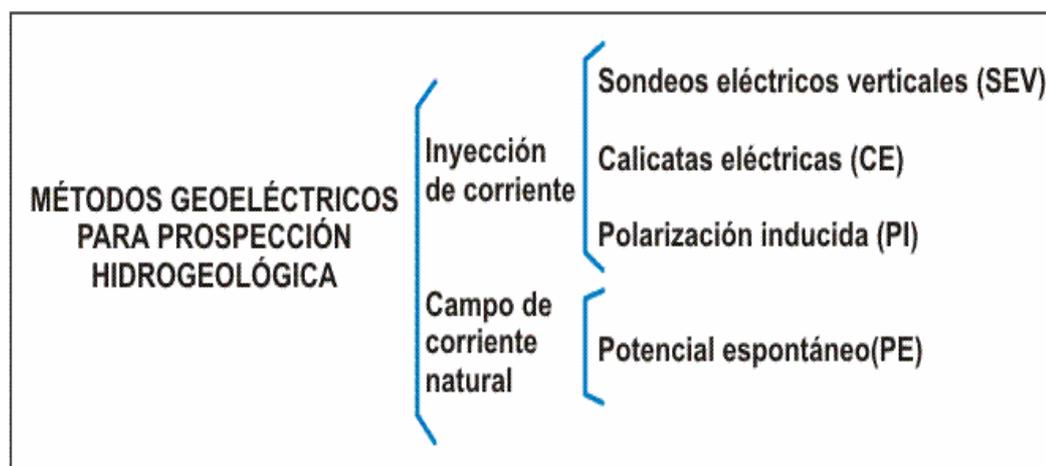
Según AUGE (2008), significan búsqueda y en relación a la hidrogeología, se refieren a la ubicación de reservorios de agua subterránea con características que a priori resulten apropiadas para una posterior explotación o aprovechamiento del recurso.



Otros métodos menos utilizados son: sondeos eléctricos bipolares, sondeos de frecuencia, corrientes telúricas, AFMAG (audio frecuencia magnética). En los últimos tiempos se ha difundido el método conocido como imagen eléctrica o tomografía eléctrica.

2.2.6. Geoeléctricas

Para AUGÉ (2008), es la rama de la geofísica que trata sobre el comportamiento de rocas y sedimentos en relación a la corriente eléctrica. Los métodos geoeléctricas más empleados en hidrogeología se basan en la inyección artificial de una corriente eléctrica (sondeos eléctricos verticales SEV y calicatas eléctricas CE); de menor utilidad son la polarización inducida (PI) y el potencial espontáneo (PE), este último basado en la medición de campos eléctricos naturales.



2.2.7. Métodos de exploración

Para MISSTEAR y Otros (2003), los principales métodos geofísicos empleados en la exploración de aguas subterráneas se resumen en el (cuadro 01). Los diferentes métodos ofrecen datos sobre diferentes propiedades geofísicas del suelo y, por lo tanto, los mejores resultados de la encuesta se consiguen por lo general mediante en el uso de más de un método. La resistividad eléctrica y técnica electromagnética que es más común en las investigaciones de aguas subterráneas, así mismo se puede obtener más información certera mediante el método penetración terrestre (georadar)

Según CASTANY (1975), menciona que los métodos de prospección eléctrica se clasifican en dos métodos:

- **La prospección de eléctrica o de resistividad:** se utiliza directamente en los estudios hidrogeológicos

- **La prospección electromagnética:** se utiliza sobre todo para la prospección de minerales conductores pero puede tener aplicaciones en los estudios de aguas subterráneas.

Cuadro 01: Métodos geofísicos utilizados en la exploración de las aguas subterráneas	
principio	método
	Principales aplicaciones en exploración de aguas subterráneas
resistencia eléctrica	<p>Sondeos eléctricos verticales (SEV)</p> <p>Perfiles de resistividad eléctrica (separación de electrodo constante que atraviesa)</p> <p>Imágenes Eléctrico (tomografía)</p>
	<p>Perfiles de conductividad del suelo (dominio de frecuencia EM)</p> <p>EM de dominio de tiempo (TDEM)</p> <p>Muy baja frecuencia (VLF)</p>
Electromagnetismo (EM)	<p>Perfiles de resistividad Eléctrica (Separación de Electrodo constante Que atraviesa)</p> <p>De formación de imágenes de dos y tres dimensiones combina muchas de las aplicaciones de Ves y perfiles de resistividad. Time-lapse (o de cuatro dimensiones) de imágenes pueden monitorear el movimiento del agua en el subsuelo</p> <p>Aplicaciones similares a perfiles de resistividad</p> <p>Aplicaciones similares a VES, pero a menudo se utiliza para mayores profundidades de investigación</p> <p>Principalmente para la localización de zonas de fracturas verticales / cerca; también para determinar la profundidad hasta la roca madre, la profundidad de la capa freática</p>
Magnetometría	<p>Propiedades del acuífero; geometría del acuífero</p> <p>Ubicación de diques ígneos. Localización de las zonas de fractura</p>
sísmico	<p>Profundidad hasta la roca madre; espesor de los depósitos superficiales, profundidad de la capa freática, la profundidad de la erosión en los acuíferos de roca cristalina, la ubicación de las zonas de fractura</p>
Radar de penetración terrestre (georadar)	<p>Espesor de arena y grava acuíferos; profundidad hasta la roca madre, la profundidad de la capa freática, la ubicación de las fracturas sub-horizontales o de cavidades en calizas cársticas</p>
gravedad	<p>Geometría de extensos acuíferos sedimentarios, la ubicación de los valles enterrados, la ubicación de las cavidades en calizas cársticas (microgravedad)</p>

Fuente: Pozos de agua y perforaciones BRUCE MISSTEAR 2010

Cuadro 02. Principales áreas de aplicación para distintos métodos geofísicos
área de aplicación métodos apropiados de exploración geofísica

Área de aplicación	Métodos apropiados de exploración geofísica
Petróleo, Gas y Carbón.	S, G M, (EM)
Yacimientos Metalices	M, EM, E, PI
Arena y Graba	S, (E), (G)
Aguas Subterráneas.	E, S, (G)
Obras de Ingeniería	E, C, (G), (M)

Fuente: Alonso Arellano, metodología del sondaje híbrido en la prospección eléctrica, 2001.

En donde:

G = Gravimetría,

M = Exploración magnética,

E = Exploración eléctrica por método de resistividad,

S = Método sísmico,

PI = Método de polarización inducida,

EM = Método electromagnético. Los métodos secundarios se encuentran entre paréntesis

2.2.7.1. Prospección eléctrica por el método de la resistividad eléctrica

Para MISSTEAR y Otros (2003), la resistividad eléctrica de la tierra depende principalmente de las propiedades de la geológica material, el grado de saturación y la naturaleza del fluido. Los suelos secos y cristalina roca madre tiene altas resistividades eléctricas, arenas saturadas y acuíferos consolidados tienen resistividades más bajas, mientras que los materiales arcillosos o estratos que contienen agua salada tienen muy bajas resistividades. Métodos de resistividad eléctrica son, por lo tanto, útil para investigar tanto la geometría del acuífero y la calidad de las aguas subterráneas. Los métodos también se pueden utilizar para estimar las propiedades del acuífero, tales como la transitividad

Según CASTANY (1975), indica que el método eléctrico o de resistividades es apropiado para el estudio de aguas subterráneas que exigen poca profundidad y para las características hidrogeológicas que se buscan en el terreno. Permiten determinar en la naturaleza, la morfología y la profundidad del estrato y la litología de las capas acuíferas.

Se basa en el estudio de las variaciones y de parámetros físico de las rocas: su aptitud más o menos grande es conducir la corriente eléctrica. La **conductividad eléctrica**. Para mayor comodidad se utiliza en general la **resistividad** que es la inversa de la **conductividad** y generalmente se expresa en *ohm por metro* ($\Omega.m$). De ahí viene el método de las resistividades.

Según PROGEO (1997), indica que la resistividad eléctrica “ ρ ” de un material describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad σ como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar el material. La resistencia eléctrica que presenta un conductor homogéneo viene determinada por la resistividad del material que lo constituye y la geometría del conductor.

a) Conductividad y resistividad eléctrica

Según CASTANY (1975), menciona que la conductividad eléctrica se distingue en dos tipos:

- **La conductividad metálica:** caracteriza los metales y por consiguiente los minerales: las pititas, la galena la magnetita, los sulfuros de cobre. Para medir la resistividad de un prisma de metal se le intercala en un circuito.
- **La conductividad electrolítica:** es el tipo electrolítico la corriente se propaga bajo la forma de iones. Es pues, la función del contenido de agua en las rocas. Por ello el método de las resistividades está particularmente bien adaptado a las prospecciones geoelectricas.

La unidad de resistividad eléctrica, utilizada para la prospección eléctrica es el ($ohm.m^2$)/m o simplemente $ohm-m$.

b) Variaciones de la resistividad de los suelos.

Según CASTANY (1975), la resistividad de los suelos es en general, del orden de 100,000 veces mayor que la de los metales puros. Los minerales que constituyen las rocas, salvo raras excepciones, como el grafito o los sulfuros metálicos son aislantes perfectos. La resistividad de las rocas depende, pues,

esencialmente de su contenido de agua y de las composiciones químicas de esta agua, en lo último la variación de resistividad depende de tres valores:

- **La naturaleza litológica del suelo:** alguno ejemplos nos mostraran las variaciones de la resistividad en función de la naturaleza litológica de las rocas:

- Calizas..... 100 a 5000 ohm. m.
- Areniscas..... 60 a 10000 ohm. m.
- Cuarzita..... 20000 ohm. m.
- Sal gema..... 1.10¹⁵ ohm. m.

- **El contenido de agua:** una arena seca es un principio un no conductor que está constituido por granos aislados (cuarzo y caliza). Pero en condiciones naturales una roca nunca está completamente seca, puesto que veremos que encierra siempre el agua de retención. Una arena húmeda tiene una resistividad elevada debido a que la corriente solo circula por medio del agua de retención, y una cierta parte de los vacíos está constituido por aire, esta resistividad varía entre 60 y 2000 ohm. M. Así pues la resistividad específica ρ , es función del volumen del agua contenido por unidad de volumen. Por consiguiente en saturación de la porosidad total m (tabla n° 1)

$$P \text{ arena acuífera} = \rho * m * k \qquad \text{Ec. 001}$$

- **El coeficiente K:** depende fundamentalmente de la forma de los granos y de los poros, los cuales influyen en la intercomunicación de los vacíos y por tanto sobre el desplazamiento de los iones (cuadro 03).
- **La composición química del agua:** la resistividad del agua es función del contenido de sales disueltas que actúan sobre la ionización, y por tanto sobre la conductividad electrolítica.

Tabla 001. Variaciones de la resistividad en función de la porosidad.

Porosidad (%)	Resistividad (ohm. m)
Suelo arenoso 40 a 75	1.5 a 4
Arcillas plásticas 15 a 40	3 a 20
Arcillas calcáreas 15 a 40	3 a 20
Dolomías..... 15 a 40	3 a 20

Arcillas 8 a 75	20 a 40
Calizas y areniscas..... 3 a 4	50 a 100

c) Valores de la resistividad de los suelos

Según CASTANY (1975), la resistividad de las rocas es pues un parámetro físico cuyas variaciones son importantes, es posible estudiarlas para una interpretación geológica.

Si los factores de estas variaciones son conocidos, la interpretación global de los resultados de los resultados es a menudo delicada, ya que es difícil aislar el papel de cada uno de ellos. Por ejemplo la débil resistencia de las arcillas se debe a la vez a su naturaleza litológica y a la cantidad y contenido de sales disueltas del agua que encierran. La débil resistencia de una arena puede ser provocada por la presencia de arcillas o bien de agua salada (tabla 04).

Tabla 02. Resistividad de algunas rocas.

Naturaleza litológica	Resistividad específica (ohm. m)
Margas	0.5 a 20
Arcillas (agua dulce)	10 a 100
Arcillas (agua salada)	1 a 10
Esquistos	50 a 100
Calizas	100 a 5000 y mas
Areniscas	60 a 100
Cuarcitas	20000
Granitos	300 a 15000
Rocas eruptivas compactas	500 a 2000
Rocas eruptivas alteradas	50 a 500
Aluviones, arenas, gravas.	100 a 1000
Suelos arcillosos	10 a 20

2.2.7.2. Medición de la resistividad eléctrica del subsuelo

Las medidas de resistividad eléctrica del subsuelo son habituales en las prospecciones geofísicas. Su finalidad es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo. El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos y la determinación, mediante otro par de electrodos, de la diferencia de potencial. La magnitud de esta medida depende,

entre otras variables, de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos y de la corriente inyectada.

Según M. AUGE (2008), indica que la medida de las resistividades se clasifica en tres métodos:

a) Laboratorio

Las mediciones se realizan sobre muestras de rocas o sedimentos extraídos de afloramientos, canteras, calicatas, o perforaciones.

Como todas las determinaciones litológicas de laboratorio, su mayor limitación radica en el tamaño reducido de la muestra respecto al del medio natural y a la alteración en las propiedades físicas (porosidad, permeabilidad) e hidráulicas (grado de saturación y composición química del agua poral) al efectuar la extracción, el almacenamiento y el transporte hasta el laboratorio.

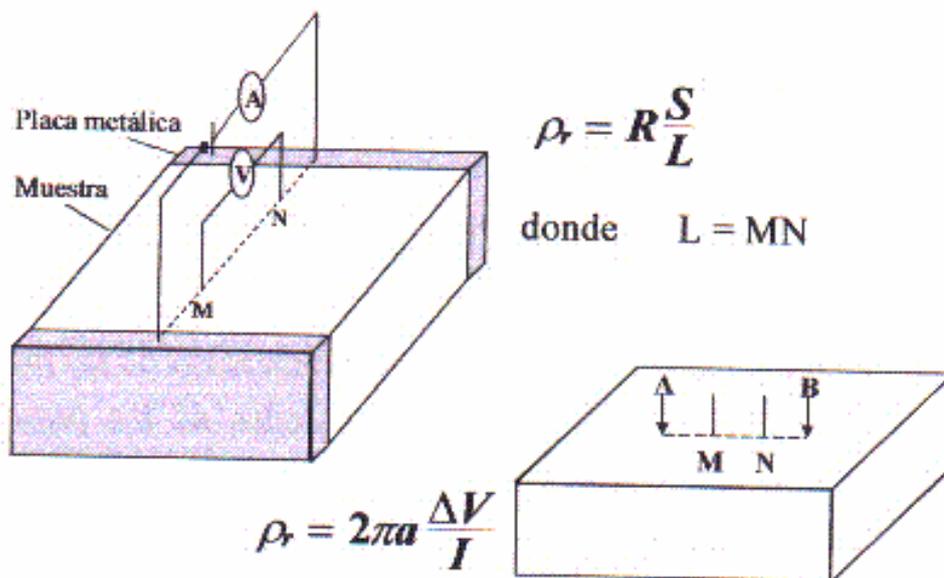


Fig. N° 04: medida de resistividad en laboratorio

b) Perforaciones

La medición de la resistividad eléctrica en el interior de pozos brinda resultados más representativos que los efectuados en laboratorio, pues las unidades geológicas se encuentran in situ y aunque pueden sufrir alteraciones en las propiedades físicas y/o hidráulicas, durante las tareas de perforación, estas en

la generalidad son menos significativas que las producidas al extraer las muestras y llevarlas al laboratorio.

c) Campo

Las mediciones se realizan directamente en el terreno, abarcando un volumen significativamente mayor del medio a investigar, que el logrado en laboratorio o en perforación. Además con los registros de campo, no se genera alteración en las propiedades físicas e hidráulicas de las rocas o sedimentos. Su mayor limitación es el costo, el tiempo y la interpretación, que se complica a medida que el medio natural se aparta de los requisitos teóricos (homogeneidad e isotropía) que tipifican al medio ideal.

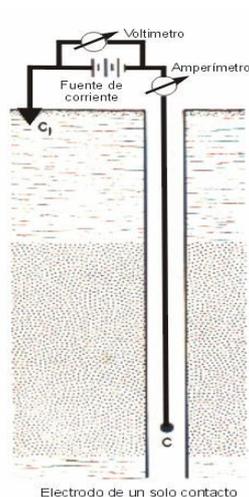


Fig. N° 05: medida de resistividad en laboratorio

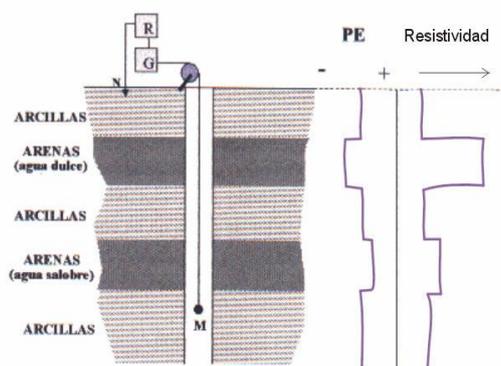


Fig. N° 06: Perfiles litológicos y de resistividad en perforación

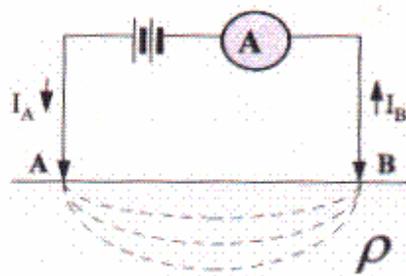


Fig. N° 07: Flujo eléctrico en medio isótropo y homogéneo

En la *figura 4* se esquematiza el flujo eléctrico de una corriente continua, a través de un medio isótropo y homogéneo de resistividad ρ , que se inyecta en el terreno por A, con una intensidad I_A y sale del mismo por B (I_B). En condiciones de régimen estacionario (sin pérdidas ni ganancias entre A y B), resulta que:

$$I_A = I_B \quad \text{Ec. 02}$$

La resistividad eléctrica r de un material describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad s como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar el material. La resistencia eléctrica que presenta un conductor homogéneo viene determinada por la resistividad del material que lo constituye y la geometría del conductor. Para un conductor rectilíneo y homogéneo de sección s y longitud l la resistencia eléctrica es

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad \text{Ec. 04}$$

L : radio de la semiesfera r

S : superficie de la semiesfera

$$s = 2\pi r^2$$

A partir de esta ecuación podemos despejar la resistividad:

$$\rho = \frac{Rs}{l} \quad \text{Ec, 05}$$

La unidad de resistividad en el Sistema Internacional es el ohm por metro ($\Omega \cdot m$). La conductividad se define como el inverso de la resistividad

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Ec. 06

La unidad de conductividad en el Sistema Internacional es el siemens (S). La resistividad es una de las magnitudes físicas con mayor amplitud de variación para diversos materiales. Además, su valor depende de diversos factores como la temperatura, humedad o presión.

2.2.7.3. Medida de la resistividad eléctrica

Para MISSTEAR y Otros (2003), la resistividad eléctrica se mide haciendo pasar una corriente eléctrica en el terreno entre dos electrodos y la medición de la diferencia de potencial entre otros dos electrodos. La resistencia se calcula utilizando la ley de ohm. Esta resistencia se multiplica por un factor geométrico en relación con la configuración del electrodo para calcular la resistividad eléctrica del subsuelo (generalmente expresada en unidades de ohmios m). Hay muchos diferentes configuraciones de electrodos o matrices. Aquellos más común en las aguas subterráneas exploración son la **Wenner** y las matrices de **Schlumberger**.

Para ORELLANA (1982), el dispositivo de medida más utilizado en la actualidad es el tipo **Schlumberger** llamado cuadripolo se inyecta una corriente I entre el par de electrodos AB y se mide la tensión ΔV entre el par de electrodos MN. Si el medio es homogéneo de resistividad r, la diferencia de tensión es:

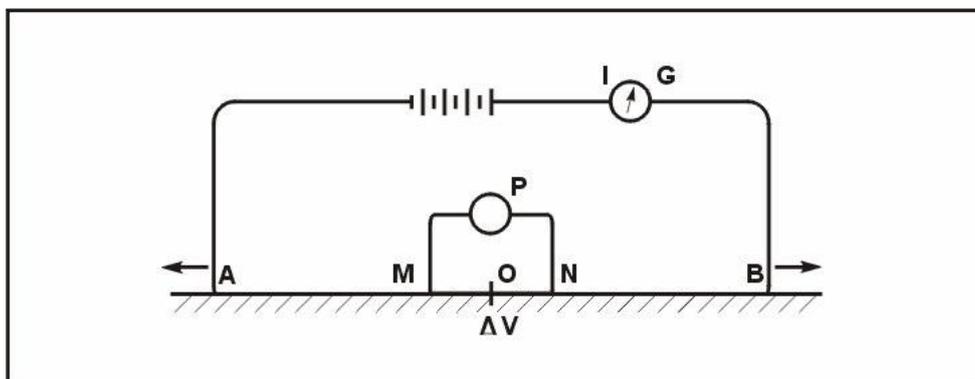


Fig. N° 08: dispositivos con cuatro polos para medir las resistividades método

Schlumberger

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

Ec, 07

- ΔV : Diferencia de potenciales
- I : Intensidad de corriente
- AB, MN : Electrodo de transmisión de corriente alterna

Una línea de emisión permite, entre dos electrodos A y B indicados en el suelo, para hacer pasar una corriente de intensidad I . se mide la diferencia de potenciales ΔV entre los electrodos M y N , que constituyen la línea de recepción. Los electrodos A y B , M y N están dispuestos simétricamente en relación al centro o del dispositivo.

Las medidas de *intensidad I* y de la *diferencia de potenciales ΔV* , se efectúan con un solo aparato llamado *potenciómetro*. El potenciómetro contiene además aparatos de medida una pila patrón y dispositivo compensador de las corrientes espontaneas:

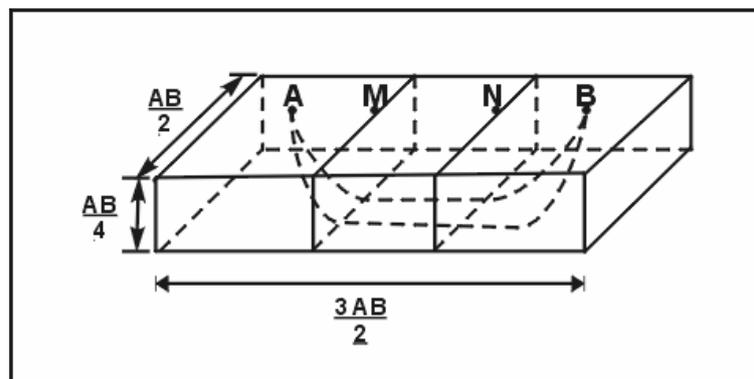


Fig. N° 09: localización de hilillos de cuatro polos de Schlumberger

La expresión enseña que la casi totalidad de los hilillos de corriente está contenido en un paralelepípedo de dimensiones: anchura = $AB/2$, longitud = $3AB/2$, y profundidad $AB/4$.

2.2.7.4. Resistividad del terreno

La resistividad ρ de terreno, afectada por el campo eléctrico así creado, viene dada por la *ley de ohm*. Cuya fórmula de aplicación es:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \tag{Ec, 08}$$

ρ : Resistividad del terreno

K : Constante

Donde AM, AN, BM, BN son las distancias entre electrodos. La resistividad viene dada por la expresión

Dónde:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \tag{Ec. 09}$$

K: es un coeficiente numérico que depende de las disposiciones de los electrodos A, M, N, B.

Para los terrenos homogéneos e isotrópos este cálculo permite determinar la *resistividad específica* ρ_e sin embargo este caso apenas se presenta y se obtiene entonces la *resistividad aparente* ρ_a .

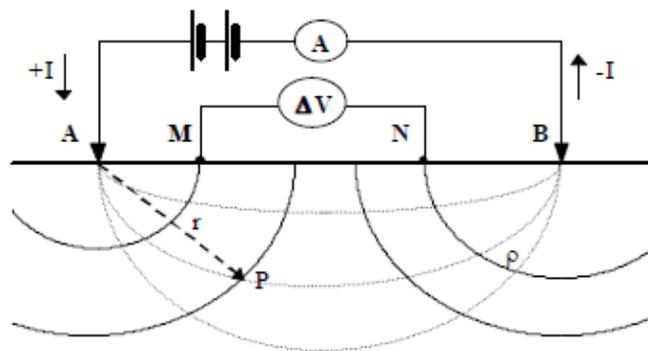


Fig. N° 10: Dispositivo tetraelectrónico para la medida de la resistividad del suelo

Dos dispositivos tetraelectrónicos lineales (los cuatro electrodos están en línea) en los que intercambiamos los electrodos de inyección y detección presentan unos coeficientes de dispositivo

En donde se deduce a la ecuación de:

$$K1 = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \tag{Ec. 10}$$

$$K2 = 2\pi \left(\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB} \right)^{-1} \tag{Ec. 11}$$

Dado que las distancias cumplen AM=MA, AN=NA, etc., se obtiene que K1 = K2. Luego si el medio es homogéneo, para una misma corriente de inyección

las diferencias de potencial leídas $\Delta V1$ y $\Delta V2$ serán iguales. Por tanto la resistividad medida r 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, que se cumple también para medios heterogéneos (Orellana, 1982). No obstante, 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 la corriente telúrica, parásitos industriales, etc., cuyo efecto aumenta proporcionalmente con la distancia entre M y N.

El componente geológico natural no es isótropo ni homogéneo, por lo que las superficies equipotenciales y las líneas de corriente no son regulares y rectas (figura 12) y la resistividad obtenida de la ecuación 08, 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; a esta resistividad se la denomina aparente (ρ_a).

En la práctica, lo que se mide es la resistividad aparente (ρ_a) para lo cual se emplean dos tipos de dispositivos (lineales y dipolares).

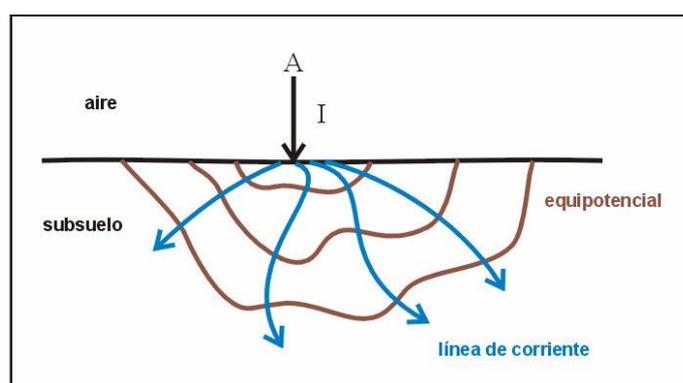


Fig. N° 11: Flujo eléctrico en medio natural

2.2.7.5. Dispositivos lineales.

Son muy empleados los dispositivos en que los cuatro electrodos AMNB se encuentran, por este orden, sobre una misma recta. Si además, los cuatro electrodos se disponen simétricamente respecto de un centro, tendremos un dispositivo simétrico. Los dispositivos tetraelectródicos lineales más utilizados son los siguientes:

- Dispositivo Wenner
- Dispositivo Schlumberger

En estas expresiones se utiliza (Ec, 09):

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

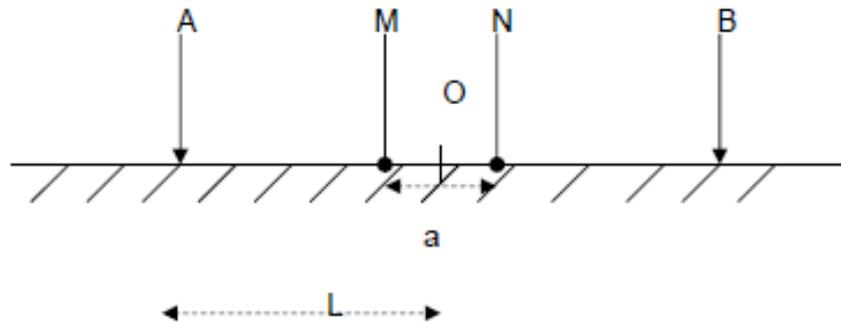


Fig. N° 12: Dispositivos lineales

Pero en general, es más sencillo deducirla de la ecuación:

$$\rho = 2\pi \frac{b(b+a)}{a} \frac{\Delta V}{I} \tag{Ec, 12}$$

Teniendo en cuenta que la adición del electrodo B duplica el potencial, dada la posición simétrica de este respecto de A y su signo opuesto. Por lo tanto, el coeficiente de dispositivo habrá de ser la mitad que en la Ec, 09, puesto que ρ no ha variado. Tendremos:

$$\rho = \pi \frac{b(b+a)}{a} \frac{\Delta V}{I} \tag{Ec, 13}$$

$$K = \pi \frac{b(b+a)}{a} \tag{EC, 14}$$

2.2.7.5.1. Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB el cual se indica en la (fig. 014)

Muy usado en los países La constante geométrica es:

$$\rho_a = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \tag{Ec, 15}$$

O

$$\rho_a = \pi \left(L^2 - \frac{a^2}{4} \right) * \frac{\Delta V}{Ia} \tag{Ec. 16}$$

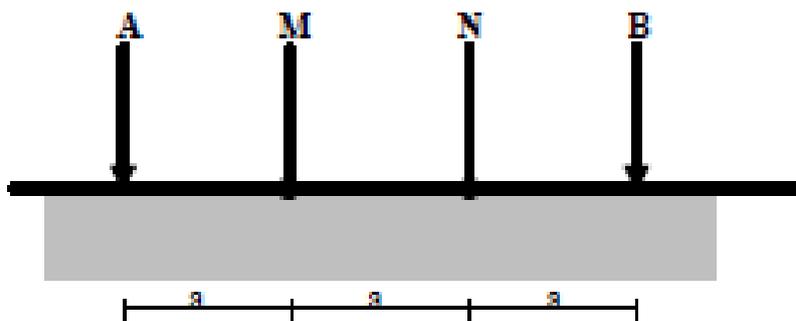


Fig. N° 13: Dispositivo de Wenner

2.2.7.5.2. Dispositivo Schlumberger

Se trata de una composición simétrica de los electrodos AMNB dispuestos en línea, donde la distancia de los electrodos detectores MN es mucho menor que la de los inyectores AB (Figura 015). En la práctica, $AB > 5MN$.

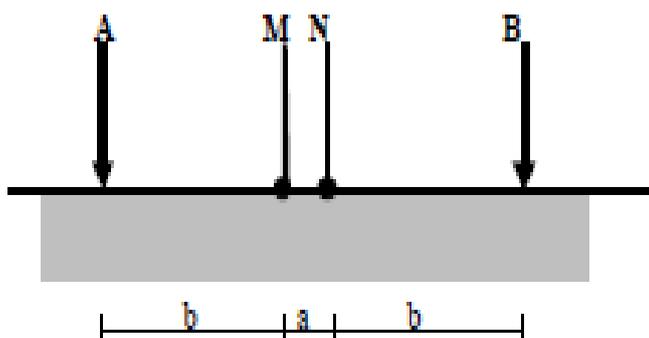


Fig. N° 14: Dispositivo de Schlumberger

Y la constante k está dada por (Ec, 14)

$$K = \pi \frac{b(b+a)}{a} \tag{Ec, 17}$$

Si definimos $L = b + a/2$, el factor geométrico se puede expresar como:

$$K = \pi \left(\frac{L^2}{a} - \frac{a}{4} \right) \quad \text{Ec. 18}$$

Si la distancia a que separa los electrodos M y N tiende a cero el factor geométrico queda

$$K = \pi \left(\frac{L^2}{a} \right) \quad \text{Ec. 19}$$

Que tiende a infinito. Sin embargo la resistividad aparente es finita ya que ΔV en (Ec, 08) decrece al mismo tiempo que a . Tendremos, al final la siguiente expresión:

$$\rho_a = \lim_{a \rightarrow 0} \pi \frac{L^2}{a} \frac{\Delta V}{I} = \pi \frac{L^2}{I} \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{a} = \pi \frac{L^2}{I} E \quad \text{Ec, 20}$$

Donde E es el campo eléctrico. La idea del dispositivo Schlumberger consiste, pues, en utilizar una distancia $MN = a$ muy corta, de tal modo que pueda tomarse como válida la ecuación anterior. Los desarrollos teóricos se establecen suponiendo que lo que medimos realmente es el campo E , el cual en la práctica se toma igual a $\Delta V/a$. Trabajar con el campo eléctrico comporta ventajas teóricas a la hora de trabajar con expresiones analíticas. El inconveniente es que la tensión diferencial medida disminuye linealmente con la separación a y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia L . Además, la precisión de las mediciones geoelectricas de campo está muy limitada por heterogeneidades irrelevantes del terreno (ruido geológico). Es decir que, si bien en la teoría matemática se emplea la fórmula (ec, 16) en las observaciones de campo la que se utiliza realmente es:

$$K = L^2 \left(\frac{\Delta V}{Ia} \right) \quad \text{Ec, 21}$$

Por lo que el error que se comete al emplear esta expresión es sólo el que proviene de despreñar el término $a^2 / 4$. Este error es muy pequeño. En las mediciones de campo suele tomarse la norma $MN \leq AB/5$. Como $MN = a$ y $L = AB$, el error relativo será

$$\eta \leq \frac{L^2 - \left(L^2 - \frac{a^2}{4}\right)}{L^2} = \left(\frac{a}{2L}\right)^2 = 4\%$$

Ec, 22

Para $MN = AB / 5$. Normalmente, MN es mucho más pequeño respecto de AB , y el error será muy reducido. Por otra parte, la precisión de las mediciones geoelectricas de campo está muy limitada por heterogeneidades irrelevantes del terreno (ruido) por lo que no puede exigírseles gran exactitud.

En ciertos casos, el electrodo B se lleva a gran distancia de los demás de modo que no influya sobre el valor ΔV observado. Se tiene entonces el dispositivo, denominado Schlumberger asimétrico, o medio Schlumberger cuyo coeficiente de dispositivo será, lógicamente, el doble del usual, esto es:

$$\rho_a = 2\pi L^2 \frac{\Delta V}{Ia}$$

Ec, 23

2.2.7.5.3. Dispositivos Dipolares

En esta disposición, AB y MN se ubican mucho más cerca de la distancia que los separa entre sí. En la práctica, las configuraciones más frecuentes son la ecuatorial y la axil.

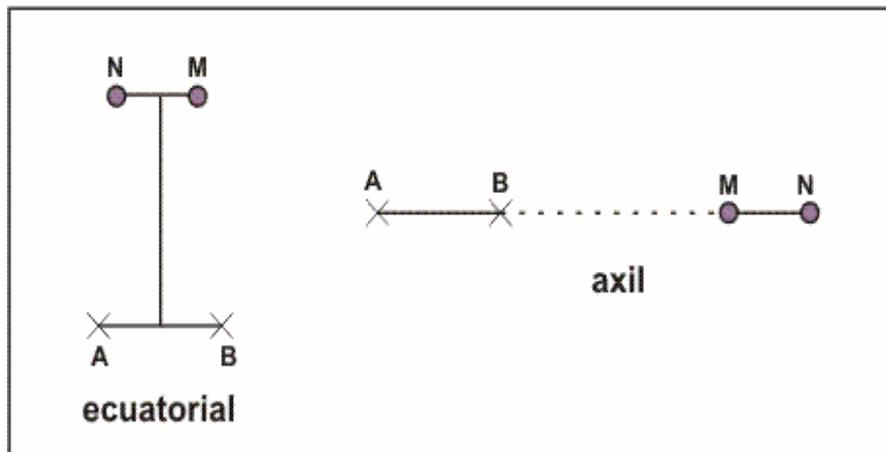


Fig. Nº 15: dispositivo dipolares.

Los dispositivos dipolares (DD) requieren intensidades de corrientes mucho mayores que los lineales (SEV), por lo que son menos empleados. Solamente se los utiliza para investigaciones geoelectricas profundas.

2.2.8. Porosidad

Para VILLON, (2011) la porosidad de un terreno se define como la relación del volumen de huecos (vacíos) al volumen total de terreno que los contiene es decir:

$$\eta = 100 \frac{w}{v} \quad \text{Ec. 24}$$

La porosidad depende de un gran número de factores tales como la naturaleza fisicoquímica del terreno, granulometría de su componente, grado de cementación, o compactación de los mismos efectos de disolución, de meteorización, fisuración, etc.

La porosidad de un terreno puede variar entre márgenes muy amplios de 80% a 90% en sustancias floculentas, como las de los depósitos recientes en las deltas hasta menos de 1% en las rocas compactas.

En los depósitos de materiales sueltos, los cuales constituyen la fuente más importante de aguas subterráneas las porosidades se pueden oscilar de un 5% a un 40%. La porosidad se considera pequeñas si es menor de 5%; entre 5% y el 20% se considera media, y grande se considera si se eleva por encima del 20%. tal como se muestra en la (tabla 03) de los intervalos de porosidad representativa para materiales sedimentarios en los acuíferos.

Tabla N° 03. Intervalo de porosidad representativa para materiales sedimentarios subterráneos

Material	porosidad %
suelos	50 - 60
arcillas	45 - 55
limo	40 - 50
arena uniforme	30 - 40
grava	30 - 40
grava y arena	20 - 35
arenisca	10 - 20
pizarra	1 - 10
caliza	1 - 10

Fuente: Hidrología, aguas subterráneas

2.2.9. Recarga potencial hídrica del acuífero

Para SCHOSINSKY (2007), la necesidad de conocer el potencial de aguas subterráneas para ser explotadas mediante pozos, conlleva a estimar la recarga de los acuíferos en proyectos de evaluación de las aguas subterráneas, se realicen estudios tendientes a establecer dicha recarga con base en la distribución de precipitación y coeficientes de infiltración en los suelos del país.

Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona, se determinan: la precipitación mensual de la zona, los diferentes valores de infiltración básica de los suelos, la cobertura vegetal del suelo y su pendiente. Determinados los valores anteriormente mencionados, se puede evaluar la infiltración mediante la ecuación presentada por schosinsky & losilla, (2000).

Conocida la infiltración, se puede realizar un balance de suelos para estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado. Para poder realizar el balance, se determinan: la infiltración de lluvia que penetra al suelo, la cobertura vegetal del suelo, la profundidad de las raíces extractoras del agua, la capacidad de campo, el punto de marchitez del suelo, la evapotranspiración potencial y la humedad del suelo al inicio del análisis.

El estudio del balance de suelos se basa en el principio de la conservación de la materia. O sea, el agua que entra a un suelo, es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él. Las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos.

2.2.9.1. Balance del suelo

Según SCHOSINSKY (2007), el potencial de las aguas subterráneas de un acuífero, representa la máxima cantidad de agua a sustraer del acuífero, para que no sea sobreexplotado. Dicho potencial se estima mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo en primer lugar, la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje. En segundo lugar, se requiere conocer la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que llega a su superficie. En tercer lugar, se debe realizar un balance de suelos,

que nos permita estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero, que se encuentra ubicado debajo del suelo.

Según VILLON (2011), el balance hídrico de un proyecto, resulta de gran interés práctico como por ejemplo para elaborar el calendario agrícola previsión de pequeñas embalses, etc. Su cálculo se puede realizar a partir de los valores de la evapotranspiración corregida, haciendo intervenir además la precipitación media mensual

2.2.9.1.1. Fracción de lluvia interceptada por el follaje

Según SCHOSINSKY (2007), las lluvias menores de 5 mm mensuales, no van a generar infiltración ya que se considera que en un mes con lluvia, al menos 5mm son retenidos por el follaje sin llegar al suelo (Schosinsky & losilla, 2000). Además, en follajes, es del 12% (Butler, 1957) de la precipitación mensual. Sin embargo, en bosques muy densos, la retención de la lluvia se considera en un 20% (Linsley et al., 1958). Definiremos como coeficiente de follaje (Cfo) el porcentaje de la lluvia mensual que es retenida en el follaje, expresado en tanto por uno. Para el 12% de retención $Cfo = 0,12$. Para el 20% de retención $Cfo = 0,20$.

Para calcular la retención de lluvia mensual interceptada por el follaje (Ret), se aplicará la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo de la retención mensual de lluvia por follaje.

Si P es menor o igual a 5 mm/mes, $Ret = P$.

Si el producto $(P)(Cfo)$ es mayor o igual de 5 mm/mes, $Ret = (P)(Cfo)$. Ec. 25

Si P es mayor de 5mm/mes y el producto $(P) (Cfo)$ menor de 5, $Ret = 5$.

Donde:

$P =$ Precipitación mensual del mes (mm/mes).

$Ret =$ Retención de lluvia en el follaje (mm/mes).

$Cfo =$ Coeficiente de retención del follaje.

Para bosques muy densos $Cfo = , 20$, otros $Cfo = 0,12$ (adimensional).

2.2.9.1.2. Infiltración

Según MORAN (1992), la infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra; la percolación es el movimiento

del agua dentro del suelo y ambos fenómenos, la infiltración y la percolación, están íntimamente ligados puesto que la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda. El agua que se infiltra en exceso de la escorrentía - subsuperficial puede llegar a formar parte del agua subterránea, la que eventualmente puede llegar a los cursos de agua.

Para MIJARES (1992), se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

Para CHOW y Otros (1994), la infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración incluyendo las condiciones superficiales del suelo y su cobertura vegetal las propiedades del suelo la porosidad y la conductividad hidráulica

Para CUEVAS (2009), es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida por ella o alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente. Superada por la capacidad de campo del suelo, el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad

Según CUSTODIO-LAMAS (2008), se define a la infiltración como al proceso hidrológico por el cual el agua ingresa al suelo a través de su superficie.

Para SCHOSINSKY (2007), uno de los factores que más influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo, es el coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (k_{fc}), que está dado tentativamente por la siguiente ecuación (schosinsky & losilla, 2000):

$$K_{fc} = 0.267 \ln(fc) - 0.000154fc - 0.723$$

Donde:

K_{fc} (adimensional) = Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura del suelo);

fc [mm/día] = Infiltración básica del suelo.

Para aplicar esta ecuación, el rango de f_c ha de encontrarse entre 16 a 1568 mm/día. Para valores de f_c menores a 16 mm/día, $K_{fc} = 0,0148f_c/16$.

Para valores de f_c mayor a 1568 mm/día, $K_{fc} = 1$.

Con las observaciones mencionadas en el párrafo anterior, el cálculo del coeficiente de infiltración por textura del suelo, se representa en la siguiente ecuación:

Ecuación para calcular el coeficiente de infiltración por textura de suelo (K_{fc})

Si f_c se encuentra entre 16 y 1568 mm/día

$$K_{fc} = 0.267 \ln(f_c) - 0.000154 f_c - 0.723 \quad \text{Ec. 26}$$

Si f_c es menor a 16 mm/día $K_{fc} = 0,0148f_c/16$

Si f_c es mayor de 1568 mm/día $K_{fc} = 1$

El valor de f_c corresponde a la permeabilidad del suelo saturado, en los primeros 30 centímetros de profundidad, por considerar que este es el espesor que está en contacto directo con el agua de lluvia. Dicho valor se obtiene en el campo, con la prueba de anillos aplicada en la superficie del terreno. También se puede obtener con el permeámetro de guelph o con la prueba de porchet, ambas aplicadas a una profundidad no mayor de 30 cm. Sin embargo, pueden existir diferencias entre los métodos utilizados.

El valor de K_{fc} , fue derivado para los valores de lluvia mensual. Por lo tanto, la fracción que infiltra debido a la textura del suelo, nos permite obtener la infiltración mensual debido a este concepto. Además del coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo, influye la pendiente del terreno y la vegetación. Estos coeficientes, vienen a conformar el coeficiente de infiltración del suelo (C_i), basado en la siguiente ecuación (ONU, 1972):

Ecuación para el cálculo del coeficiente de infiltración del suelo

$$\text{Si } K_p + K_v + K_{fc} \geq 1, C_i = 1$$

$$\text{Si } K_p + K_v + K_{fc} < 1, C_i = 1$$

$$\Rightarrow Ci = Kp + Kv + Kfc$$

EC. 27

Donde:

Ci = Coeficiente de infiltración [adimensional].

Kp = Fracción que infiltra por efecto de pendiente (adimensional) (Tabla 04).

Kv = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal (adimensional) (Tabla 04).

Kfc = Fracción que infiltra por textura del suelo (adimensional) (ecuación 26).

El coeficiente de infiltración es el factor por el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo. En una zona dada, entre menor sea la pendiente del terreno y mayor sea su cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa, generando una mayor infiltración. Los valores sugeridos de estos componentes, que el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo En una zona dada, entre menor sea la pendiente del terreno y mayor sea su cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa, generando una mayor infiltración. Los valores sugeridos de estos componentes, que conforman el coeficiente de infiltración, se muestran en el (tabla 04)

Tabla Nº 04: Componentes de coeficiente de infiltración

Por pendiente:	Pendiente	Kp
Muy plana	0,02%-0,06%	0,30
Plana	0,3%-0,4%	0,20
Algo plana	1%-2%	0,15
Promedio	2%-7%	0,10
Fuerte	mayor de 7%	0,06

Por cobertura vegetal:	Kv
Cobertura con zacate menos del 50%	0,09
Terrenos cultivados	0,10
Cobertura con pastizal	0,18
Bosques	0,20
Cobertura con zacate más del 75%	0,21

Fuente: Schosinsky y Losilla 2010

2.2.9.1.3. Cálculo de infiltración pluvial mensual

En el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente, se han de considerar los siguientes factores: la precipitación mensual, la retención pluvial mensual en el follaje (ecuación 25) y el coeficiente de infiltración (ecuación 27).

El cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente (P_i) al suelo, está dado por la siguiente ecuación:

$$P_i = (C_i)(P - Ret) \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en [mm/mes].

C_i = Coeficiente de infiltración (adimensional) (ecuación 27)

P = Precipitación mensual en (mm/mes) (dato meteorológico).

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en (mm/mes) (ecuación 25).

En ningún caso el coeficiente de infiltración (C_i) ha de ser mayor de 1, si así fuese, se le asigna a C_i el valor de 1.

2.2.9.1.4. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial generada por la lluvia mensual, corresponde a la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje menos la infiltración. La escorrentía mensual se calcula con la siguiente ecuación

$$ESC = P - Ret - P_i \quad \text{Ec. 29}$$

ESC = Escorrentía superficial en mm/mes.

P = Precipitación en mm/mes (dato meteorológico).

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en mm/mes (ecuación 25).

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en mm/mes (ecuación 28).

2.2.9.1.5. Balance hídrico

Para el balance del suelo, en primera instancia se requiere la infiltración mensual al suelo, generada por la lluvia. Dicho cálculo se obtiene de acuerdo con el apartado de “infiltración” descrito anteriormente. Posteriormente, es necesario conocer la capacidad de campo y punto de marchitez del suelo. Estos valores, se obtienen directamente del laboratorio de suelos o se estiman mediante el tabla 05. También es necesario conocer la profundidad aproximada de las raíces extractoras de agua, en la zona donde se ha de realizar el balance. O sea, el balance se realizará en un prisma rectangular, que tiene en la cara superior un cuadrado de 1 metro de lado y de profundidad, la de las raíces, con capacidad de absorción del agua en el suelo. Tabla 06 muestra la profundidad mencionada de raíces de algunas plantas.

Tabla 05: Punto de marchitez y capacidad de campo en % por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelo (Grassi 1976)

TEXTURA DEL SUELO	Porcentaje por peso de suelo seco		
	PMP%	CC%	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenoso	2-6	6-12	1,55-1,80
Franco-arenoso	4-8	10-18	1,40-1,60
Franco	8-12	18-26	1,35-1,50
Franco- arcilloso	11-15	23-31	1,30-1,40
Arcillo-arenoso	13-17	27-31	1,25-1,35
Arcilloso	15-19	31-39	1,20-1,30

Fuente: Schosinsky y Losilla 2010

La forma natural de extracción de agua del suelo es mediante la transpiración de las plantas. Dicha extracción se realiza mediante las raíces; por lo tanto, la extracción de agua se realizará en una franja de suelo que tiene una profundidad indicada.

Tabla 06: Profundidad de raíces de frentes cultivos (Geassi 1976)

PROFUNDIDAD DE RAÍCES	
Cultivo	Metros
Alfalfa (pastos)	1-2
Algodón	1-1,7
Banano	0,5-0,8
Caña de azúcar	1,20-2
Frijol	0,5-0,7
Cebolla	0,3-0,5
Cítricos	1,20-2,0
Zacate	0,3-0,5
Bosques	2,0-3,0

Fuente: Schosinsky y Losilla 2010

La máxima humedad que puede tener un suelo que no se encuentre saturado, es igual a la capacidad de campo, es entonces cuando la planta tiene la máxima capacidad de transpiración. La mínima humedad que puede tener un suelo es aproximadamente igual al punto de marchitez, pues con humedades menores la planta muere. De lo anterior se deduce que un suelo, no saturado, a profundidades mayores que la profundidad de raíces se encuentra a capacidad de campo.

2.2.9.1.6. Evapotranspiración

La evapotranspiración en una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo. La mayor capacidad de evapotranspiración de un cultivo es cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Sin embargo, cuando la humedad del suelo es menor que la capacidad de campo, las hojas de las plantas van cerrando los estomas, con el propósito de transpirar menos y así economizar el agua.

Cuando la humedad del suelo llega al punto de marchitez permanente, la planta no transpira y muere (Heras, 1972). En este estudio, asumiremos que la evapotranspiración potencial real va a ser proporcional a la humedad del suelo, comparada con la diferencia de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. Esto es, si una planta a capacidad de campo evapotranspira 3 mm por día, siendo la capacidad de campo del suelo 12%, el punto de marchitez permanente de 2% y el suelo se encuentra a una humedad de 6%, la evapotranspiración potencial real (ETPR) de la planta será de:

$$ETPR = \frac{(HS - PM)(ET)}{(CC - PM)} \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

ETPR (mm/día) = Evapotranspiración potencial real

HS (%) = Humedad del suelo

ET ([mm/día) = Evapotranspiración de la planta a capacidad de campo

CC [%] = Capacidad de campo

$PM [\%] = \text{Punto de marchitez permanente}$

Cada planta tiene una evapotranspiración diferente y va a depender de la temperatura de ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento y grado de desarrollo de la planta (Heras, 1972).

En una cuenca o en una zona arbitraria de la cuenca, es casi imposible determinar la evapotranspiración de la vegetación, debido a la gran variedad de vegetación y grado de desarrollo de las plantas existentes en una cuenca o en una zona de la misma. Por este motivo, es conveniente asumir una evapotranspiración, que se estime como promedio de la cuenca. Esta evapotranspiración promedio de la cuenca, la asumiremos que es igual la evapotranspiración potencial (ETP).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, existen una serie de ecuaciones, algunas de ellas requieren una serie de datos, que pocas estaciones meteorológicas los tienen. Por este motivo, se utilizará la ecuación de Blaney & Criddle (ONU, 1972):

$$ETP(mm/mes) = (0.18 + 0.46T)Ps \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

$ETP = \text{Evapotranspiración potencial en [mm/mes]}$

$T = \text{Temperatura media mensual en } ^\circ\text{C (dato meteorológico)}$

$Ps = \text{Porcentaje de horas de luz solar mensual, con respecto al año (\%)}$
(Cuadro 09 del anexo II)

Para el presente trabajo de investigación se utilizará los datos de H-sol de la estación meteorológica de Ilave en promedios mensuales el mismo está en el anexo II.

2.2.9.1.7. Recarga del acuífero

Para ser consistente con las unidades de los parámetros que se utilizarán en adelante, tal como capacidad de campo, punto de marchitez, humedad del suelo, precipitación y evapotranspiración se utilizarán unidades en milímetros.

Para poder convertir la humedad del suelo, punto de marchitez y capacidad de campo a milímetros, los pasaremos de porcentaje por peso de suelo seco, tal como aparecen en tablas o laboratorio de suelos, a porcentaje por volumen mediante (ecuación 30):

$$\%M(vol) = \%Ws * Da \quad \text{Ec. 32}$$

Cuando ocurre la precipitación, el agua que infiltra se acumula en los poros del suelo, para llevarlo a capacidad de campo, que es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo no saturado. Posteriormente, una vez terminado el aguacero, se lleva a cabo la evapotranspiración, tomando las raíces el agua que se encuentra en los poros del suelo. Si la cantidad de infiltración de la lluvia es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y llenar la necesidad de evapotranspiración, el sobrante del agua que infiltra, percola para recargar al acuífero.

Al siguiente coeficiente, contenido en la ecuación 30, lo designaremos coeficiente de humedad (Ch): $Ch = (\text{humedad de suelo} - \text{punto de marchitez}) / (\text{capacidad de campo} - \text{punto de marchitez})$

$$Ch = \frac{Hs - PM}{CC - PM} \quad \text{Ec. 33}$$

Al iniciar un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (HSi). Si no existiese evapotranspiración, la precipitación que infiltra (Pi) vendría a aumentar la humedad en el suelo, permitiendo una mayor evapotranspiración. Si no consideramos la evapotranspiración, el coeficiente de humedad, al final del mes, sería (C1):

$$C1 = \frac{(HSi - PM + Pi)}{CC - PM} \quad \text{Ec. 34}$$

Donde:

C1 = Coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración.

Hsi = Humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en [mm].

$PM =$ Punto de marchitez en (mm).

$Pi =$ Precipitación que infiltra en (mm/mes).

$CC =$ Capacidad de campo en (mm).

Si consideramos que ocurre la evapotranspiración, una vez ocurrida la infiltración, el coeficiente de humedad, al final del mes sería:

$$C1 = \frac{(HSi - PM + Pi - ATR1)}{CC - PM} \quad \text{Ec. 35}$$

$$ETR1 = C1 * ETP$$

$C2 =$ Coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración.

$ETR1 =$ Evapotranspiración potencial real (mm/mes), considera la humedad correspondiente al coeficiente $C1$.

$ETP =$ Evapotranspiración potencial (mm/mes).

El valor de $C1$ corresponde al coeficiente de humedad máximo, ya que considera la humedad del suelo al inicio del mes, más la infiltración de la lluvia, sin ocurrir la evapotranspiración. El valor de $C2$, corresponde al coeficiente de humedad mínimo, ya que está calculado considerando la humedad del suelo anterior, restándole la evapotranspiración mensual, estimada con el coeficiente de humedad máximo, $C1$. Por lo tanto, el coeficiente $C2$ se aproxima al coeficiente de humedad al final del mes.

Como la infiltración y la evapotranspiración ocurre durante el mes, se estima que el coeficiente de humedad del mes corresponde al promedio de $C1$ y $C2$; o sea, $(C1+C2)/2$; esto quiere decir que la evapotranspiración potencial real ocurrida en un mes dado es:

$$ETPR(\text{mm/mes}) = \frac{C1 + C2}{2} ETP \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

ETPR= Evapotranspiración real tentativa promedio, en una zona, ocurrida durante el mes (mm/mes)

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración.

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1.

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

Ninguno de los coeficientes de humedad, C1 y C2, pueden ser superiores a 1, ni menores a 0.

En caso que C1 o C2, sea mayor de 1, se tomará igual a 1. Si C1 o C2 son negativos se tomarán con valor de 0.

Definiremos como humedad disponible (*HD*), aquella humedad que pueden tomar las raíces de las plantas, para poder evapotranspirar. La humedad disponible está dada por la siguiente ecuación:

$$HD(mm/ mes) = HSi + Pi - PM \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

HD = Humedad disponible [mm/mes].

Hsi = Humedad de suelo inicial (al inicio del mes)(mm).

Pi = Precipitación que infiltra (mm/mes).

PM = Punto de marchitez (mm).

Si la humedad disponible es menor que la

ETPR de la ecuación (36), la planta no podrá evapotranspirar dicha cantidad, sino que evapotranspirará únicamente la humedad disponible, debido a que no hay suficiente humedad para evapotranspirar la cantidad de agua indicada en la ecuación (36). Sin embargo, si la humedad disponible (HD) es mayor que la cantidad de agua indicada en la ecuación (36), la planta evapotranspirará la cantidad expresada en dicha ecuación. Por lo tanto la

evapotranspiración real será: Ecuación para el cálculo de evapotranspiración real (ETR)

$$\begin{aligned} &\text{Si } ((C1+C2)/2) \text{ ETP es menor o igual a HD,} \\ &\text{ETR (mm/mes) = } ((C1+C2)/2) \text{ ETP} \\ &\text{Si } ((C1+C2)/2) \text{ ETP es mayor que HD,} \\ &\text{ETR (mm/mes) = HD} \end{aligned} \quad \text{Ec. 38}$$

ETR = Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes [mm/mes].

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración [adimensional].

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1, (adimensional).

ETP = Evapotranspiración potencial mm/mes).

HD = Humedad disponible (mm/mes)

Para poder realizar el cálculo de la recarga del acuífero, se requiere conocer la humedad del suelo al final del mes, humedad de suelo final (*Hsf*), la cual no puede ser mayor que la capacidad de campo y se obtiene con la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo de HSf Ec. 39

Si $(HD + PM - ETR)$ es menor que la capacidad de campo, $HSf = HD + PM - ETR$

Si $(HD + PM - ETR)$ es mayor o igual que la capacidad de campo, $HSf = CC$

La HSf en ningún momento puede ser mayor a la CC.

Donde:

HSf = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

HD = Humedad disponible [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

ETR= Evapotranspiración real [mm/mes].

CC = Capacidad de campo [mm].

Además del cálculo de la ecuación para la humedad del suelo al final del mes, es necesario la humedad de suelo al inicio del mes, o sea, humedad inicial (HSi). La humedad inicial de un mes dado es la siguiente:

HSi = Es igual a la humedad de suelo final del mes anterior (HSf de ecuación 39) Ec. (40)

HSi = Humedad del suelo inicial (inicio de mes) (mm).

HSf = Humedad del suelo final (final de mes) (mm).

2.2.9.1.8. Cálculo de la recarga potencial del acuífero

La recarga al acuífero se lleva a cabo, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la que se calcula con la siguiente ecuación.

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

R_p = Recarga potencial mensual en mm/mes.

P_i = Precipitación que infiltra en mm/mes.

H_{Sf} = Humedad del suelo al final del mes en mm.

ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

III. MATERIALES Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO

3.1. ASPECTOS GENERALES DEL LUGAR

El presente trabajo se realizó en la comunidad de Ancasaya del distrito de Ilave Prov. de El Collao puno en vista que se ha tomado este lugar por tener una zona de afloración de aguas subterráneas así mismo se ha tomado en referencia las formaciones geológicas de ser una zona rocosa por los puntos más altos.

3.1.1. Ubicación del lugar de estudio

3.1.1.1. Ubicación política.

El ámbito del estudio se encuentra ubicado en la zona media del distrito de Ilave provincia de El Collao dpto. De Puno Perú, que políticamente pertenece al:

- Localidad : Ancasaya
- Departamento : Puno
- Provincia : El Collao.
- Distrito : Ilave

3.1.1.2. Ubicación geográfica. (Ver plano N° 01)

- Coordenadas UTM : E 433600.00, N 8220400.00
- Coordenadas geográficas : Latitud 16°09'00", Longitud 60°30'00"
- Altitud : 3847.00 m.s.n.m.

3.1.1.3. Aspectos generales del área de estudio

a) Límites y ubicación de la zona de estudio

Los pozos de observación (acuíferos) se encuentra limitado por:

- Por el Este está limitado con el rio Cerro caliraya.
- Por el Oeste está limitado con el cerro Chatuma Pucara.
- Por el Norte está limitada con el centro poblado de San Cristóbal de balsabe.
- Por el Sur está limitada con el local de a UNA Puno sede Ilave.

3.1.1.4. Vías de comunicación y acceso a la zona proyecto

De acuerdo a los tipos de medios de transporte en la zona de estudio se puede acceder por una principal vía como puede ser:

Cuadro N° 03. Cuadro de distancia y tiempo al área de estudio.

TRAMO	TIPO DE VIA	LONGITUD (Km.)	TIEMPO (Min)
▪ Puno – Ilave	Asfaltado	54	45 a 50
▪ Ilave - Ancasaya	Asfaltado	2.5	5 a 10

Fuente: Elaboración propia en base al estudio.

3.1.1.5. Área del proyecto

La superficie total de estudio es de 15.5 has aproximadamente en donde se encuentran la zona donde se ha realizado el sondaje eléctrico vertical además

en toda la zona existen manantes de agua y pozos tipo caizón los cuales están señalados en el plano adjunto. **(Ver. Plano 03)**

3.1.1.6. Clima de la zona

según el padrón climático propuesto por estación meteorológica llave, esta zona comprende el sub-tipo climático “d”, el cual se caracteriza por ser fría y templado, los datos climáticos se han obtenido de la estación meteorológico llave tal como se muestra en (cuadro 04 y grafico 01)

3.1.1.7. Hidrología de la zona

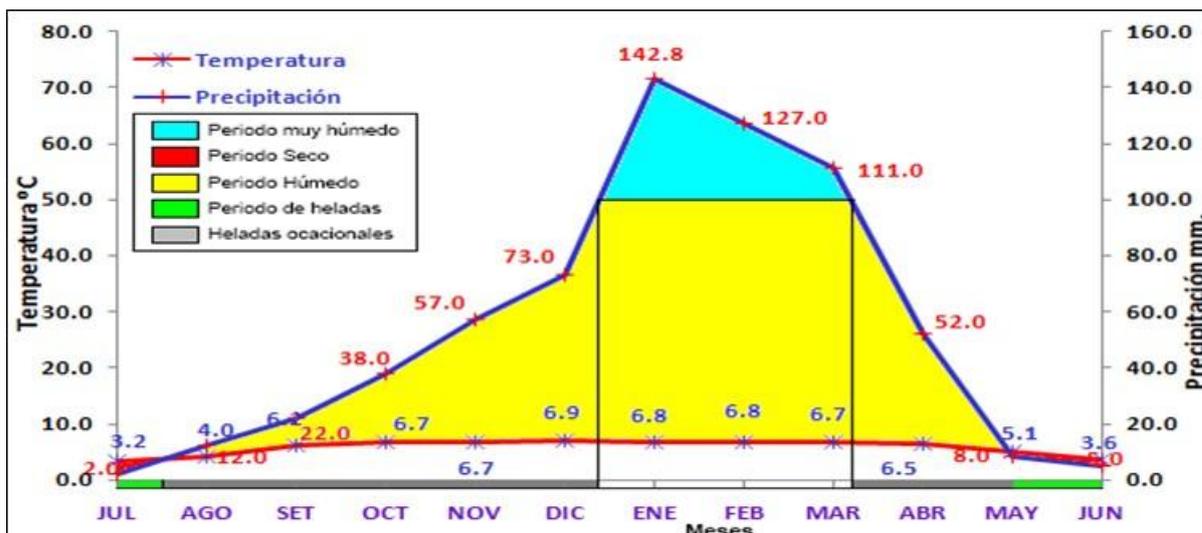
Para realizar el presente proyecto se ha tomado en referencia las precipitaciones pluviales de la estación meteorología llave en donde se puede observar las mayores incidencias de precipitación en los meses de enero a marzo en donde oscila de 142.8 a mm/m² y las menores incidencias son en los meses de junio a agosto en donde oscila de 5.0 a 12.0 mm/m², utilizamos los valores promedio de temperatura y precipitación del distrito de llave, las mismas que están representadas en el (cuadro 04).

Cuadro 04. Promedios de precipitación mensual (mm) y temperaturas medias mensuales (°C), en el distrito de llave del año 2011 - 2012

Variables	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
Precipitación media	2.0	12.0	22.0	38.0	57.0	73.0	142.8	127.0	111.0	52.0	8.0	5.0	649.8
Temperatura media mensual	3.2	4.0	6.2	6.7	6.7	6.9	6.8	6.8	6.7	6.5	5.1	3.6	5.8

Fuente: Estación Meteorología llave, 2011 - 2012.

Gráfico 001. Promedios de precipitación mensual (mm) y temperaturas medias mensuales (°C), en el distrito de llave 2012



3.1.1.8. Infraestructura de servicios básicos de la población

- a) *Vivienda.* Las viviendas de los habitantes que habitan en la localidad de Anacaya son:
 - 102 familias en donde viven en viviendas de material rustico que consiste de adobe de barro con techos de ichu y calamina.
 - 23 familias cuentan con viviendas con material noble el cual consta de estructuras de concreto, bloqueta y ladrillos
- b) *Salud.* La población asentada no cuenta con posta de salud así mismo para poder atenderse en caso de infecciones respiratorias u otras enfermedades que sean de necesidad de una atención médica tienen que acudir a la posta médica de chilacollao y al hospital de la ciudad de Ilave.
- c) *Educación.* En el área educacional, en la zona de estudio cuentan con una educación inicial el por el cual acuden los niños de 3 a 5 años para poder iniciar los primeros estudios iniciales
- d) *Energía.* La zona de estudio si cuenta con energía eléctrica de tención baja monofásica el cual no es suficiente para generar maquinarias industriales
- e) *Servicios básicos:*
 - *Agua:* lo zona de estudio cuenta con 06 aguas manantiales y 08 pozos tipo caizón de lo cual de un pozo manante existente consumen de 4 a 7 familias el cual no abastece para subsistir durante os meses de agosto a diciembre hasta que puedan

volver las precipitaciones pluviales, así mismo de los pozos tipo caizon de igual manera se abastecen de 3 a 4 familias el cual la mayoría de ellos tienden a secarse en los meses de octubre por lo que el resto de los meses tienen que acudir a los mamantes existentes el cual ya no los abastece y tienen que acudir a otros lugares el cual tienen que trasladarse más de 1 kilómetro para poder captar agua para la sobrevivencia.

3.2. PLANTEAMIENTO TÉCNICO DEL PROYECTO

3.2.1. Geología local

Evaluated the local geology of direct and indirect areas and location of the hydrogeological study areas, of the community of Ancasaya; also verified with the local geology "in situ". The local geology of the study area, influence areas, is mapped and observed geosstructures emerging in the rural zones of the city of Ilave and the direct influence areas where it is proposed to carry out a tubular well for exploitation of groundwater and indirect influence areas, which are detailed as follows.

a) Formación calizas ayabacas (Kls-ay).

In the study zone of the project, direct and indirect influence areas of the study area are mapped to the geosstructures formed by calizas ayabacas (Kls-ay), composed of calizas of gray color, intensely deformed, with intercalations of limo arcillitas and lutitas rojizas as shown in (figure 016)

b) Depósitos terrazas fluvio aluviales antiguas (Q-fal-a).

The terraces verified in the field, mapped in the zone of localization of the project, superficially observe the presence of an intermittent river according to the inhabitants of the study zone indicate that it can only be seen in flood periods and tend to disappear in the months of June where deposits in the form of terraces composed of limy sand and coarse sand, gravels in a limy matrix, superficially used as soil for organic crop management, whose thickness is determined by geophysical prospecting.

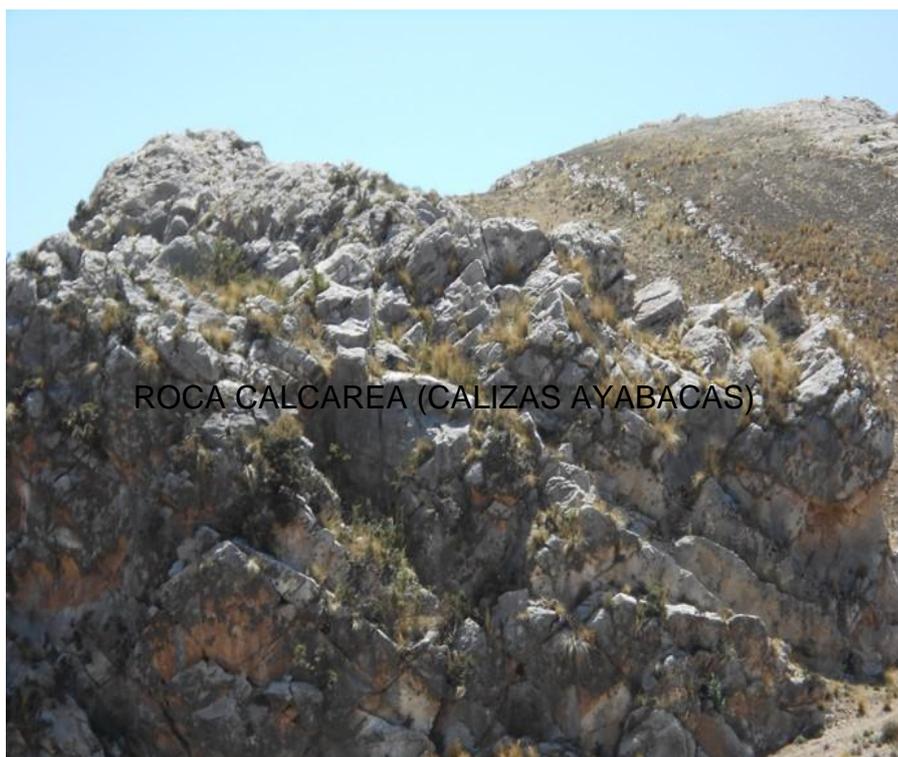


Fig. Nº 16: Estructuras geológicas de calizas ayabacas.

c) Depósitos fluvio aluviales recientes (Q-fal-r)

Se verifica “insitu” los depósitos fluvio aluviales recientes en la zona de estudio por lo que se puede observar pozos tipo caízon en donde se extrae material detrítico de gravas, arenas y sedimentados limosos, estado húmedos, sueltos y saturados de aguas subterráneas en una profundidad de 16.5 m.

d) Estudio y comportamiento del acuífero

En la ubicación de los pozos de observación se utilizó como base de datos para el trabajo de análisis y síntesis de la información, todos ellos se registraron en un plano general de la zona de estudio a escala 1:600, ubicándose dentro del el área de estudio (detallado en anexo plano nº 03). Es esencial tomar en cuenta un sistema de numeración de los pozos de observación con el fin de facilitar su ubicación en el campo y su localización en los planos, los cuales se pueden realizar con los métodos conocidos del sistema de coordenadas y cuadrículas

3.3. METODOLOGÍA TÉCNICA DEL ESTUDIO DE PROBLEMA.

3.3.1. Levantamiento topográfico

El estudio de la topografía es uno de los trabajos más importantes de la ingeniería, puesto que es la que nos proporciona la información básica de la zona de investigación, para lo cual para la presente investigación, me permitió conocer; el plano altimétrico del área en estudio, las cotas de terreno de los pozos, altura de los pozos, pendiente del terreno y con todo estos datos podemos realizar medidas en diferentes épocas del nivel freático, dirección del flujo y otros.

Para ello se utilizó como base importante la carta nacional a escala (1/100,000), cuya información fue valiosa, con esta información se hizo el reconocimiento de la zona, logrando así realizar un análisis de la situación actual. **Ver Plano 02**

3.3.2. Reconocimiento de campo

Para una mejor ubicación de campo se hace un reconocimiento de zona de estudio, con el propósito de realizar el estudio de la zona de investigación, para ello se ha considerado una recopilación de datos, análisis y síntesis de la información.

Para obtener la información de campo de la zona de estudio, se diseñó formatos con varias fichas de campo, lo cual nos facilitara y proporcionara factores importantes de la formación geología de zona de estudio.

Para ello se tomó en consideración lo siguiente:

- Las formaciones geológicas de la roca existente en la zona de estudio
- Topografía de la zona de estudio.
- Reconocimiento de Campo con el equipo técnico el que va realizar el SEV.



Fig. Nº 17: Reconocimiento de área de estudio

3.3.3. Material y equipo de campo para el estudio

Para el presente estudio se utilizaron los siguientes materiales y equipos dentro del área de investigación:

Recursos humanos:

- 01 Operador de Georesistivimetro (geofísico)
- 01 ayudante de geofísico
- 04 ayudantes de estacas (estacadores)
- 01 Operador de vehículo motorizado.

Material cartográfico y topográfico

- Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.) a escala 1/100,000.
- Carta geología y minería del Perú a escala 1/100,000
- Redacción de mapa o plano de ubicación de la zona de estudio con sus respectivas cotas y coordenadas todo ello con un levantamiento topográfico.

Material para información y observación:

- Plano de ubicación de la zona de investigación.
- Libreta de apunte o de campo.

- Tablero plástico portátil.
- Hoja graduada de lectura de georesistivímetro
- Lápiz portaminas

Instrumentos para medición:

- 01 Wincha de lona de 50.00 metros.
- 01 Wincha de 8 metros.

Materiales de campo:

- 01 Georesistivímetro.
- 02 Carretes de Cables eléctricos de 750 metros.
- 24 ElectrodoS impolarizables de recepción y emisión de energía electromagnética.
- 01 Multímetro Digital.
- 01 Unidad de Tablero de campo, para posicionamiento de los equipos.
- 01 GPS modelo Etrex de 12 satélites, marca Carmín.
- 01 Fuentes de energía 180 a 1,200 voltios.
- 01 Cámara digital marca canon de 2Ghz
- 02 Sogas de ¼" graduada de 250 ml.
- 04 Combos de 6 libras.
- 01 Paragua.
- 01 GPS satelital
- 01 Estación total
- 02 Prismas
- 01 Vehículo motorizado pik-up
- 01 Motocicleta
- Mapas y cartas nacionales

Materiales de Gabinete:

- Computadora.
- Impresora HP 840 C
- Memoria USB y CDS
- Papel bond hoja A-4
- Lapiceros, borradores, correctores, resaltadores
- Software (Microsoft office, CIVIL CAD 3D, AIDC 2002, Surfer 08),

- Movilidad (Camioneta).

3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN DEL PROBLEMA

En el presente trabajo de investigación al problema se ha recopilado todos los datos necesarios como son reconocimiento de campo, levantamiento topográfico de la zona de estudio, geología de la zona, probable zonas acuíferas como son los pozos tipo caizón existentes, el tipo de suelo que cubra la zona de estudio.

3.4.1. De la topografía de la zona

El estudio de la topografía es uno de los trabajos más importantes de la ingeniería, puesto que es la que nos proporciona la información básica de la zona de investigación, ya que en la presente investigación, me permitió conocer; el plano altimétrico del área en estudio, las cotas de terreno y se ha obtenido identificar la pendiente de la zona de estudio y la dirección del flujo de agua superficial (río intermitente) en donde se logra identificar que la zona de estudio tiene una dirección de flujo de norte oeste a sur este a si mismo de logrado identificar con pendientes variables entre 1.2% a 2% en la parte baja al cual se le podría llamar algo plana y en la parte más altas se ha logrado identificar pendientes mayores a 7% al que se le puede llamar pendiente fuerte por lo que se puede observar que la mayor escorrentía de agua de lluvias es de la parte alta de la zona de estudio por lo que se puede presumir que se tiene una hay mayor concentración de aguas de lluvia en la parte plana de la zona de estudio.

3.4.2. Determinar la resistividad del suelo

Para determinar la resistividad del suelo se ha desarrollado a través de sondaje eléctrico vertical para los cual se ha contratado a un geofísico para que pueda realizar dicho estudio en presencia del interesado.

3.4.2.1. Sondaje eléctrico vertical por el método Schlumberger

Consiste en un conjunto de determinaciones de la resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivos lineal y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción ver (Fig. 18).

Considerando el dispositivo Schlumberger, los SEV se pueden clasificar en función de la separación final entre A y B de la siguiente manera (Cuadro 05).

La finalidad del SEV es establecer la distribución vertical de la resistividad específica o real ρ por debajo del sondeo, tomando como base la curva de resistividad aparente. Esto no resulta sencillo pues la profundidad de investigación no es igual a $AB/2$ (Schlumberger) ni al parámetro a (Wenner), debido a que depende de la geometría de estos dispositivos y de los cambios de resistividades en el subsuelo. Con el objeto de disponer de órdenes de magnitud de los volúmenes involucrados, puede decirse que la mayor parte de la corriente inyectada queda dentro de un paralelepípedo geológico de un ancho $AB/2$, de un largo $3AB/2$ y de un espesor $AB/4$

CUADRO 05: Tipo de SEV - Dispositivo Schlumberger

TIPO SEV	LONGITUD	PRINCIPAL APLICACIÓN
CORTO	AB HASTA 250 m	GEOTECNIA Y ARQUEOLOGIA
NORMAL	250 m < AB < 2500 m	HIDROGEOLOGIA
LARGO	2500 m < AB < 25000 m	PROSPECCION PETROLERA
MUY LARGO	HASTA 1200 Km	INVESTIGACION GEOFISICA

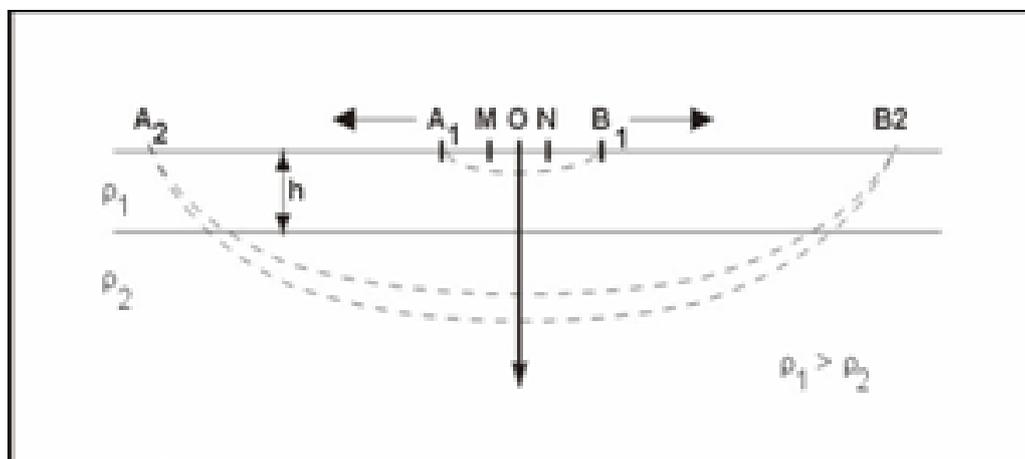


Fig. N° 18: Esquema de disposiciones electrónicas de un SEV.

3.4.2.2. Instrumento empleado para la investigación.

Para el trabajo de investigación se ha utilizado el georesistivímetro es un instrumento que está diseñado para realizar trabajos de prospección geofísica ya sea prospecciones hidrogeológica, prospección sísmica, prospección de hidrocarburos y minerales, de modo que la relación entre la caída de potencial y la corriente aplicada, se lee directamente en ohmios, como una resistencia. (fig. 19)

Con el presente equipo se realiza los trabajos de prospeccion de suelos con fines de explotacion hodrica, mineria, e hidrocarburos de acuerdo a los valores obtenidos en el campò se puede identicicar la estructura de suelo su formacion litologia por el metodo indirecto y se obtiene 02 datos de campo los cuales son

- Intensidad del corriente (I) m-A (mili-voltios)
- Diferencia de Potenciales (ΔV) m-V (mili-amperios)

3.4.2.3. Metodología de líneas equipotenciales por el método Schlumberger

Este método cosiste en introducir un campo artificial de corriente continua en terreno. Se puede utilizar corriente continua y los electrodos se ponen en contacto con el suelo, creando así un campo eléctrico. Este campo puede ser normal producido por dos electrodos puntuales suficientemente alejados entre sí o el producido por dos largos hilos electrodos paralelos que crean así un campo rectangular



Fig. N° 19: Georesistivimetro de prospeccion geofisica

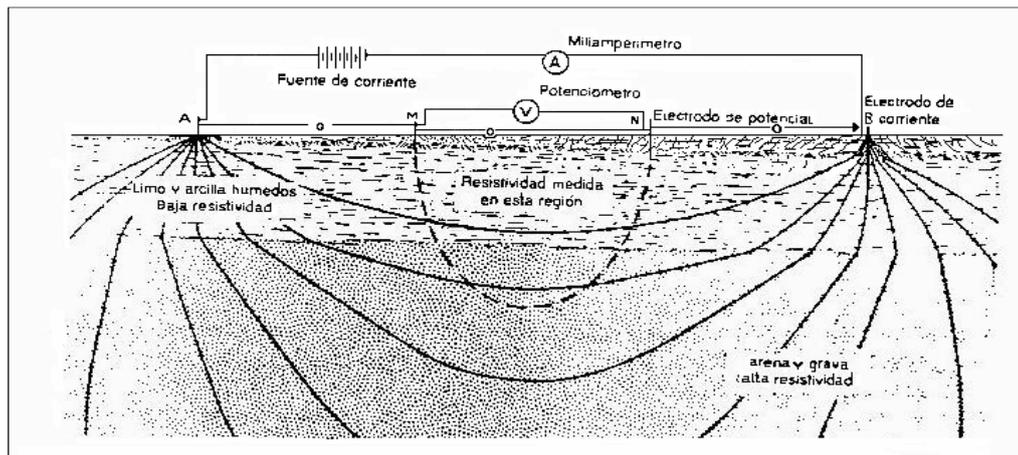


Fig. N° 20 La resistividad aparente del terreno se determina midiendo la caída de voltaje entre dos electrodos interiores cuando se hace circular una corriente por el terreno entre los electrodos exteriores. La profundidad de sondeo varía con la separación entre electrodos

Para la realización de un SEV (distancia entre A y B de 250 a 2.500 m) se requiere de un operador y 3 a 4 ayudantes para mover los electrodos. Pueden efectuarse entre 3 y 6 por día, en función de la longitud final, la distancia entre uno y otro y las características topográficas. Luego de establecer la ubicación del sondeo, la dirección de sus alas e instalar el instrumental de medición en el centro, se colocan los 4 electrodos (AMNB) de acuerdo al dispositivo a utilizar (fig. 21). Se compensa el potencial natural del terreno y se lo energiza con una corriente continua de intensidad I en mA (electrodos AB) y se lee la diferencia de potencial ΔV en mV (electrodos MN). Los valores se vuelcan en una tabla y se calcula la resistividad aparente (ρ_a en $\Omega.m$)

3.4.2.4. Intensidad de corriente (I) m-A

Para la obtención de la intensidad de corriente se inyecta en el terreno por A, con una intensidad I_A y sale del mismo por B (I_B). En condiciones de régimen estacionario (sin pérdidas ni ganancias entre A y B).

3.4.2.5. Diferencia de potenciales (ΔV) m-V

Para la obtención de ΔV a través de una línea de emisión que permite, entre dos electrodos A y B indicados en el suelo, para hacer pasar una corriente de intensidad I . se mide la diferencia de potenciales ΔV entre los electrodos M y N, que constituyen la línea de recepción. Los electrodos A y B, M y N están dispuestos simétricamente en relación al centro o del dispositivo



Fig. Nº 21: En el presente panel se observa la instalacion de SEV 06 en donde se indica la instalacion de los electrodos en ambas direcciones aplicando el metodo Schlumberger.

Estos parámetros nos permiten determinar la resistividad de suelo el cual es el resultado final para obtener el perfil litológico del suelo en donde podemos identificar durante el trabajo de gabinete.

- **Determinación de resistividad del suelo mediante el SEV (ohm-m)**

Una vez realizado el sondaje eléctrico vertical se procede a la determinación la resistividad ρ de terreno, afectada por el campo eléctrico así creada, viene dada por la *ley de ohm*. Cuya fórmula de aplicación la (Ecuación 08)

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I}$$

Para obtener el siguiente dato se ha aplicado el software ITIWIN-V2 el cual nos da el resultado de la resistividad del suelo en donde se gráfica de acuerdo a la intensidad de corriente y la diferencia de potenciales.

- **Determinación de la constante K**

Para el determinar de la constante K se aplica la ecuación (09) este proceso consiste en analizar los datos obtenidos del campo como son entre los electrodos AB y MN el cual están ilustrados con la ecuación:

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

- **Representación gráfica de las medidas**

Si llevamos sobre un diagrama doble logarítmico en abscisas los logaritmos de $AB/2$ y en ordenadas los logaritmos de las resistividades aparentes ρ_a calculadas, obtenemos una curva decreciente, asíntotas de las resistividades específicas ρ_1 y ρ_2

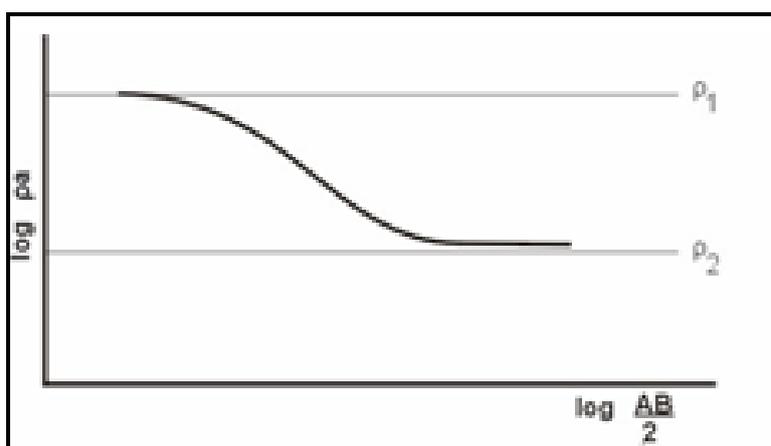


Fig. N° 22 Representación gráfica de los registros

El gráfico así obtenido se llama *diagrama del sondaje eléctrico vertical* o también *sondeo eléctrico*.

3.4.3. Determinar la características estratificadas del suelo

Para determinar las características del suelo en estudio se ha realizado los siguientes pasos

- Determinar horizontes del suelo de acuerdo a los resultados obtenidos mediante el Sondaje Eléctrico Vertical
- Determinar los tipos de suelos que nos muestra el perfil de las secciones desde los puntos de ubicación del sondaje eléctrico vertical del cual se ha obtenido 06 secciones geológicas e hidrogeológicas en 2D en el ANEXO IV.
- De la presente hoja de perfiles se ha podido identificar 06 horizontes de acuerdo a la resistividad aparente del suelo.

3.4.4. Determinar la recarga potencial hídrica de acuífero mediante un balance hídrico de suelos

En este estudio se ha desarrollado una metodología y un modelo, con el propósito de determinar la recarga potencial al acuífero mediante un balance de suelos. Una de las ventajas de dicha metodología es que considera varias variables que influyen en la recarga de los acuíferos, tales como: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno. La metodología descrita ha sido bastante utilizada, generando un error de recarga menor del ochenta por ciento, en los casos que se ha podido comprobar, en forma confiable, los valores de dicha recarga.

3.4.4.1. Determinación del balance hídrico del suelo.

En este estudio se ha desarrollado una metodología y un modelo, con el propósito de determinar la recarga potencial al acuífero mediante un balance de suelos. Una de las ventajas de dicha metodología es que considera varias variables que influyen en la recarga de los acuíferos, tales como: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno. La metodología descrita ha sido bastante utilizada, generando un error de recarga menor del ochenta por ciento, en los casos que se ha podido comprobar, en forma confiable, los valores de dicha recarga:

a) determinación de la fracción de lluvia interceptada por el follaje.

Para calcular la retención de lluvia mensual interceptada por el follaje (ret), se aplicará la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo de la retención mensual de lluvia por follaje. Se ha utilizado la Ec. 25

b) Determinación de lámina de Infiltración.

En el presente trabajo de investigación se ha realizado 05 pruebas de control de infiltración, la prueba de infiltración se ha toma lo siguiente:

- Prueba de infiltración 01 cada 1 min, 2 min, 3min, 5min y 10min.
- Prueba de infiltración 02 cada 1 min, 2 min, 3min, 4min, 5min y 10min.
- Prueba de infiltración 03 cada 1 min, 2 min, 3min, 5min y 10min.
- Prueba de infiltración 04 cada 1 min, 2 min, 3min, 5min y 10min.
- Prueba de infiltración 05 cada 1 min, 2 min, 3min, 5min y 10min.

El valor de f_c se ha obtenido en el campo, con la prueba de anillos aplicada en la superficie del terreno.

c) Determinación de capacidad de campo.

Para el presente trabajo de investigación se ha aplicado la siguiente metodología

- Primera se ha tomado una muestra de suelo en el área de estudio en donde se ha ubicado un área de 1 m x 1 m. Luego con una pala se elimina toda la vegetación y los primeros cm del suelo. Se construye un bordo de tierra apisonada de unos 10 cm de altura, rodeando dicho cuadrado. Se echa agua en el cuadrado de forma de asegurar la saturación del perfil. Si la prueba se hace en un momento de lluvias frecuentes y abundantes, quizás no sea necesario agregar más agua. Por el contrario, si la prueba se hace en un momento de seca, se podrían necesitar más de 140 l de agua.
- Luego en seguida se cubre el cuadrado así saturado con un nailon suficientemente grande (aproximadamente 2 x 2 m) para prevenir las pérdidas por evaporación. Los bordes del nailon se cubren con tierra (para evitar la evaporación y que se vuele), y también conviene cubrir con tierra el centro del nailon, previniendo que vientos intensos vuelen el nailon

d) Determinación de punto de marchitez permanente.

Para determinar el punto de marchitez permanente se ha realizado un la prueba de campo luego de determinar la cc para lo cual se ha utilizado la siguiente formula.

$$PM = HpCC * 0.75 - 5$$

e) Determinación de coeficiente de infiltración

El valor de K_{fc} , fue derivado para los valores de lluvia mensual. Por lo tanto, la fracción que infiltra debido a la textura del suelo, nos permite obtener la infiltración mensual debido a este concepto. Además del coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo, influye la pendiente del terreno y la vegetación. Estos coeficientes, vienen a conformar el coeficiente de infiltración del suelo (C_i), para lo cual se ha utilizado la ecuación 27.

El coeficiente de infiltración es el factor por el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo. En una zona dada, entre menor sea la pendiente del terreno y mayor sea su cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa, generando una mayor infiltración. Los valores sugeridos de estos componentes, que el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo. En una zona dada, entre menor sea la pendiente del terreno y mayor sea su cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa, generando una mayor infiltración. Los valores sugeridos de estos componentes, que conforman el coeficiente de infiltración, (ver tabla 05).

f) Determinación de infiltración pluvial mensual

En el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente, se han de considerar los siguientes factores: la precipitación mensual, la retención pluvial mensual en el follaje (ecuación 25) y el coeficiente de infiltración (ecuación 27).

El cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente (P_i) al suelo, se determina con la ecuación 28:

g) Determinación de escorrentía superficial

La escorrentía superficial generada por la lluvia mensual, corresponde a la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje menos la infiltración. La escorrentía mensual se calcula con la ecuación 29.

h) Determinación del balance hídrico

Para el balance del suelo, en primera instancia se requiere la infiltración mensual al suelo, generada por la lluvia. Dicho cálculo se obtiene de acuerdo con el apartado de “infiltración” descrito anteriormente. Posteriormente, es necesario conocer la capacidad de campo y punto de marchitez del suelo. Estos valores, se obtienen directamente del laboratorio de suelos o se estiman mediante la (tabla 05). También es necesario conocer la profundidad aproximada de las raíces extractoras de agua, en la zona donde se ha de realizar el balance. O sea, el balance se realizará en un prisma rectangular, que tiene en la cara superior un cuadrado de 1 metro de lado y de profundidad, la de las raíces, con capacidad de absorción del agua en el suelo. (La tabla 06) muestra la profundidad mencionada de raíces de algunas plantas.

La forma natural de extracción de agua del suelo es mediante la transpiración de las plantas. Dicha extracción se realiza mediante las raíces; por lo tanto, la extracción de agua se realizará en una franja de suelo que tiene una profundidad igual a la mostrada en la (Tabla 06).

La máxima humedad que puede tener un suelo que no se encuentre saturado, es igual a la capacidad de campo, es entonces cuando la planta tiene la máxima capacidad de transpiración. La mínima humedad que puede tener un suelo es aproximadamente igual al punto de marchitez, pues con humedades menores la planta muere. De lo anterior se deduce que un suelo, no saturado, a profundidades mayores que la profundidad de raíces se encuentra a capacidad de campo.

i) Determinación de la evapotranspiración

La evapotranspiración en una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo. La mayor capacidad de evapotranspiración de un cultivo es cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Sin embargo, cuando la humedad del suelo es menor que la capacidad de campo, las hojas de las

plantas van cerrando los estomas, con el propósito de transpirar menos y así economizar el agua.

Cuando la humedad del suelo llega al punto de marchitez permanente, la planta no transpira y muere (Heras, 1972). En este estudio, asumiremos que la evapotranspiración potencial real va a ser proporcional a la humedad del suelo, comparada con la diferencia de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. Y estado dado por la ecuación 30

Cada planta tiene una evapotranspiración diferente y va a depender de la temperatura de ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento y grado de desarrollo de la planta (Heras, 1972).

En una cuenca o en una zona arbitraria de la cuenca, es casi imposible determinar la evapotranspiración de la vegetación, debido a la gran variedad de vegetación y grado de desarrollo de las plantas existentes en una cuenca o en una zona de la misma. Por este motivo, es conveniente asumir una evapotranspiración, que se estime como promedio de la cuenca. Esta evapotranspiración promedio de la cuenca, la asumiremos que es igual la evapotranspiración potencial (ETP).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, existen una serie de ecuaciones, algunas de ellas requieren una serie de datos, que pocas estaciones meteorológicas los tienen. Por este motivo, se utilizará la ecuación de Blaney & Criddle que es la (ecuación 31)

j) Determinación de la recarga del acuífero

Para ser consistente con las unidades de los parámetros que se utilizaran en adelante, tal como capacidad de campo, punto de marchitez, humedad del suelo, precipitación y evapotranspiración se utilizarán unidades en milímetros.

Para poder convertir la humedad del suelo, punto de marchitez y capacidad de campo a milímetros, los pasaremos de porcentaje por peso de suelo seco, tal como aparecen en tablas o laboratorio de suelos, a porcentaje por volumen y está calculado mediante (ecuación 32):

Cuando ocurre la precipitación, el agua que infiltra se acumula en los poros del suelo, para llevarlo a capacidad de campo, que es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo no saturado. Posteriormente, una vez terminado el aguacero, se lleva a cabo la evapotranspiración, tomando las raíces el agua que se encuentra en los poros del suelo. Si la cantidad de infiltración de la lluvia es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y llenar la necesidad de evapotranspiración, el sobrante del agua que infiltra, percola para recargar al acuífero.

k) Coeficiente de humedad (Ch)

Para determinar el coeficiente de humedad se calcula mediante la ecuación 33. Al iniciar en un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (HS_i). Si no existiese evapotranspiración, la precipitación que infiltra (P_i) vendría a aumentar la humedad en el suelo, permitiendo una mayor evapotranspiración. Si no consideramos la evapotranspiración, el coeficiente de humedad, al final del mes, sería ($C1$): y está dado por la (ecuación 34)

Si consideramos que ocurre la evapotranspiración, una vez ocurrida la infiltración, el coeficiente de humedad, y se calcula con la ecuación 35 de acuerdo a los resultados analizados:

El valor de $C1$ corresponde al coeficiente de humedad máximo, ya que considera la humedad del suelo al inicio del mes, más la infiltración de la lluvia, sin ocurrir la evapotranspiración. El valor de $C2$, corresponde al coeficiente de humedad mínimo, ya que está calculado considerando la humedad del suelo anterior, restándole la evapotranspiración mensual, estimada con el coeficiente de humedad máximo, $C1$. Por lo tanto, el coeficiente $C2$ se aproxima al coeficiente de humedad al final del mes.

l) Determinación de evapotranspiración potencial real

En cuanto a la evapotranspiración potencial real, de la ecuación. 36 la planta no podrá evapotranspirar dicha cantidad, sino que evapotranspirará únicamente la humedad disponible, debido a que no hay suficiente humedad para evapotranspirar la cantidad de agua indicada en la (ecuación 36). Sin embargo, si la humedad disponible (HD) es mayor que la cantidad de agua

indicada en la ecuación (36), la planta evapotranspirará la cantidad expresada en dicha ecuación. Por lo tanto la evapotranspiración real se calcula con la ecuación 38

m) Ecuación para el determinar de HSf

Si $(HD + PM - ETR)$ es menor que la capacidad de campo, $HSf = HD + PM - ETR$

Si $(HD + PM - ETR)$ es mayor o igual que la capacidad de campo, $HSf = CC$

La HSf en ningún momento puede ser mayor a la CC.

Donde:

$HSf =$ Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

$HD =$ Humedad disponible [mm/mes].

$PM =$ Punto de marchitez [mm].

$ETR =$ Evapotranspiración real [mm/mes].

$CC =$ Capacidad de campo [mm].

Además del cálculo de la ecuación para la humedad del suelo al final del mes, es necesario la humedad de suelo al inicio del mes, o sea, humedad inicial (HSi). La humedad inicial de un mes dado es la siguiente:

$HSi =$ Es igual a la humedad de suelo final del mes anterior (HSf de ecuación 39) Ec. (41)

$HSi =$ Humedad del suelo inicial (inicio de mes) (mm).

$HSf =$ Humedad del suelo final (final de mes) (mm).

n) Determinación de la recarga potencial del acuífero

La recarga al acuífero se lleva a cabo, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la que se calcula con la ecuación 41.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. TRABAJO DE CAMPO

Se efectuaron 06 prospecciones geofísicas mediante estaciones de sondajes eléctricos verticales (SEV), con dispositivo tetra y multielectrónico, de los cuales 04 sondeos ejecutados en la zona directa e indirecta del área de localización de la zona de estudio, con levantamiento geofísico del subsuelo de 180 metros lineales, localizado en la comunidad de Ancasaya en diferentes puntos cardinales los mismos están detallados en el plano 02.

Cuadro N° 06: Coordenadas utm psad 56 y altitud de los sondajes eléctricos verticales (SEV)

N° SEV	ESTE	NORTE	COTA m.s.n.m.	LUGAR
01	43398	8220410	3837	COM. ANCASAYA
02	433962	8220499	3839	COM. ANCASAYA
03	434002	8220586	3845	COM. ANCASAYA
04	433703	8220590	3843	COM. ANCASAYA
05	433782	8220647	3843	COM. ANCASAYA
06	433856	8220705	3845	COM. ANCASAYA

FUENTE: Elaboración propia en campo

4.2. ANÁLISIS DE RESISTIVIDAD DE TERRENO

4.2.1. Cuadro de resultados de resistividad de terreno

Luego de someter a una evaluación, análisis, y procesamiento de los geodatos de campo se obtiene los siguientes resultados de campo para cada sondaje eléctrico vertical (SEV) los cuales se muestran en el cuadro N° 017.

CUADRO N° 07: Resistividad de terreno mediante el sondaje eléctrico vertical

ZONA ANCASAYA												
SEV	H1		H2		H3		H4		H5		H6	
	ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
01	37	1.40	93	8.80	62	32.80	38	38.90	35			
02	59	0.80	148	7.90	34	25.20	98	40.20	52			

03	5	0.80	37	3.90	32	112	36	42.20	117			
04	86	0.70	60	47.10	99	24.10	68	44.40	24			
05	246	0.80	373	24.10	65	52.70	34					
06	71	1.20	63	4.90	30	18.50	32	46.70	67			

Fuente: Elaboración propia en gabinete
 ρ = Resistividad de terreno
 E= Espesor en M

4.2.1.1. Columnas geológicas de resistividad de terreno.

SEV 01 (Lamina Nº 01)

Horizonte 01: Resistividad de terreno con variaciones entre 11.66 a 37 m-Ω que varía entre 0.00 a 1.140 metros de profundidad. Nos indica que está conformado por materia orgánica y arcilla arenisca con presencia de nivel freático a 1.4m proveniente de aguas subterráneas permeabilidad plástica baja.

Horizonte 02: Resistividad de terreno con variaciones entre 25.2 a 105.6 m-Ω que varía entre 1.40 a 10.20 metros de profundidad. Nos indica que está conformado de gravas, gravillas y arenas, interpretadas como acuífero de tipo libre permeabilidad alta media.

Horizonte 03: Resistividad de terreno con variaciones de 45.5 a 62 m-Ω que varía entre 10.20 a 43.00 conformada de gravillas en matriz de arena, interpretada como acuífero libre permeabilidad baja.

Horizonte 04: Resistividad de terreno con variaciones de 11.35 a 38 m-Ω, que varía entre 43.00 a 81.90 metros de profundidad conformada de estratificaciones de capas de arenas con lentes de limos interpretada como acuífero permeabilidad media.

Horizonte 05: Resistividad de terreno con variaciones de 35 a 999 m-Ω que varía a mayores de 150 metros de profundidad conformada de lutitas y arcillas con presencia de rocas impermeables permeabilidad muy baja.

SEV 02 (Lamina Nº 02)

Horizonte 01: Resistividad de terreno con variaciones entre 11.66 a 59m-Ω que varía entre 0.00 a 0.80 metros de profundidad. Nos indica que está conformado por materia orgánica y arcilla arenisca con presencia de nivel freático a 0.8m proveniente de aguas subterráneas permeabilidad plástica baja.

Horizonte 02: Resistividad de terreno con variaciones entre 25.2 a 148m- Ω que varía entre 0.80 a 7.90 metros de profundidad. Nos indica que está conformado de gravas, gravillas y arenas, interpretadas como acuífero de tipo libre permeabilidad alta media.

Horizonte 03: Resistividad de terreno con variaciones de 34 a 45m- Ω que varía entre 7.9 a 25.20 metros de profundidad conformada de arenas interfaces de limos, interpretada como acuicludo permeabilidad media baja.

Horizonte 04: Resistividad de terreno con variaciones de 13.35 a 98m- Ω , que varía entre 25.20 a 40.20 metros de profundidad conformada de estratificaciones de capas de arenas con lentes de limos interpretada como acuicludo permeabilidad media.

Horizonte 05: Resistividad de terreno con variaciones de 52 a 999m- Ω que varía a mayores de 100 metros de profundidad conformada de lutitas y arcillas con presencia de rocas impermeables permeabilidad muy baja.

SEV 03 (Lamina Nº 03)

Horizonte 01: Resistividad de terreno con variaciones entre 8 a 15m- Ω que varía entre 0.00 a 0.80 metros de profundidad. Nos indica que está conformado por materia orgánica y arcilla arenisca y limoso con presencia de nivel freático a 0.8 m proveniente de aguas subterráneas permeabilidad baja.

Horizonte 02: Resistividad de terreno con variaciones entre 23 a 37 m- Ω que varía entre 0.80 a 4.7 metros de profundidad. Nos indica que está conformado de arenas con limos interpretado como acuicludo libre permeabilidad media.

Horizonte 03: Resistividad de terreno con variaciones de 29 a 32m- Ω que varía entre 4.7 a 15.90 metros de profundidad conformada de arenas con lentes de limos, interpretada como acuicludo de tipo libre con permeabilidad media.

Horizonte 04: Resistividad de terreno con variaciones de 28.6 a 36m- Ω , que varía entre 15.90 a 58.10 metros de profundidad conformada de estratificaciones de capas de arenas con lentes de limos interpretada como acuicludo tipo libre con permeabilidad baja.

Horizonte 05: Resistividad de terreno con variaciones de 117 a 999m- Ω que varía a mayores de 100 metros de profundidad conformada de lutitas y arcillas con presencia de rocas impermeables.

SEV 04 (Lamina N° 04)

Horizonte 01: Resistividad de terreno con variaciones entre 2 a 86 m- Ω que varía entre 0.00 a 0.70 metros de profundidad. Nos indica que está conformado por materia orgánica, subyacente gravillas, arenas y limos saturados de agua con presencia de nivel freático a 0.8 m proveniente de aguas subterráneas permeabilidad alta.

Horizonte 02, 03, 04: Resistividad de terreno con variaciones entre 29 a 108m- Ω que varía entre 0.70 a 73.4 metros de profundidad. Nos indica que está conformado de arenas gravas y limos saturados de agua subterránea interpretado como acuífero libre con permeabilidad alta.

Horizonte 05: Resistividad de terreno con variaciones de 24 a 999m- Ω que varía a mayores de 100 metros de profundidad conformada de lutitas y arcillas con presencia de rocas impermeables.

SEV 05 (Lamina N° 05)

Horizonte 01, 02: Resistividad de terreno con variaciones entre 9 a 246m- Ω que varía entre 0.00 a 0.80 metros de profundidad. Nos indica que está conformado por materia orgánica, subyacente gravillas, arenas y limos con presencia de nivel freático a 2.50m proveniente de aguas subterráneas de permeabilidad media.

Horizonte 03: Resistividad de terreno con variaciones de 62 a 373m- Ω que varía entre 0.80 a 59.10 metros de profundidad conformada de gravas, gravillas en matriz de arenas con lentes de limos, interpretada como acuícludo de tipo libre con permeabilidad media.

Horizonte 04: Resistividad de terreno con variaciones de 28.6 a 34m- Ω , que varía entre 59.10 a mayores de 100 metros de profundidad conformada de estratificaciones de capas de arenas con lentes de limos interpretada como acuícludo tipo libre con permeabilidad baja.

SEV 05 (Lamina Nº 05)

Horizonte 01: Resistividad de terreno con variaciones entre 15 a 71m- Ω que varía entre 0.00 a 1.20 metros de profundidad. Nos indica que está conformado por materia orgánica, arenas, gravillas en matriz limoso con presencia de nivel freático a 1.5m proveniente de aguas subterráneas de permeabilidad media.

Horizonte 02: Resistividad de terreno con variaciones entre 36 a 63m- Ω que varía entre 1.20 a 6.10 metros de profundidad. Nos indica que está conformado por materia orgánica, arenas, gravillas en matriz arenas y limos con presencia de nivel freático a 1.5m proveniente de aguas subterráneas de permeabilidad alta media.

Horizonte 03, 04: Resistividad de terreno con variaciones de 22 a 32m- Ω que varía entre 6.10 a 24.60 y de 24.60 a 71.30 metros de profundidad conformada de gravas, gravillas en matriz de arenas con lentes de limos, interpretada como acuícludo de tipo libre con permeabilidad media.

Horizonte 04: Resistividad de terreno con variaciones de 67 a 999m- Ω , que varía entre 71.30 a mayores de 100 metros de profundidad horizonte conformada de rocas calcáreas, intercaladas con enteracies de limo arcillitas interpretado como acuitardo permeable a través de fracturas y grietas con impermeabilidad media baja.

4.3. ANÁLISIS DE ESTRATIFICACIÓN DEL SUELO

4.3.1. Análisis y descripción de columnas geoelectricas hidrogeológicas

Las columnas geoelectricas hidrogeológicas, representan muestreos electromagnéticos mediante sondaje eléctrico vertical (SEV) nos permite visualizar los cortes hidrogeológicos del subsuelo indirectamente puntualmente, los parámetros georesistivos nos permite identificar los espesores de las capas u horizontes a lo largo del taladro indirecto, la litología estratificada interpretada

corresponden a cada capa caracterizado, cuyos parámetros hidrogeológicos de porosidad y permeabilidad estimada se describe de cada sondeo.

Para ilustración de los resultados se muestra en las láminas de cada sondeo, indicándose en la leyenda, los valores georesistivos de cada espesor de la capa u horizonte geoeléctrico; además se describen las características litológicas, estratigráficas que muestra parámetros hidrogeológicos inferidos de permeabilidad y porosidad cualitativa. Así mismo se indica sus coordenadas geográficas, altitudes de localización, ubicados en los terrenos de la comunidad, en seguida se describe las características de las columnas geoeléctricas hidrogeológicas que presenta de cada estación de sondeo, la misma que se adjunta en el Anexo III.

4.3.2. Correlación geología - geofísica.

Con la finalidad de visualizar bidimensionalmente las características georesistivas de los horizontes del subsuelo que pueden constituir el reservorio acuífero. Se ha elaborado secciones geológicas - geofísicas de las áreas en estudio (Ver plano 03), a continuación se describen.

- **Sección geoeléctricas hidrogeológica subterránea A1-A2 (Lamina N° 07).**

Sección geoeléctrica - hidrogeológica transversal, localizado en la comunidad de ancasaya, en coordenada mencionados en el cuadro N° 008 con corte geoeléctrico orientado de sureste a noroeste (SE-NW), sección bidimensional reconstruido con los SEV 03, 02 y 01, con los resultados nos ha permitido identificar capas, estratos y horizontes geoeléctricas H1, H2, H3, H4, H5 y H6, caracterizados los diferentes litofacies y estimados los parámetros de porosidad, permeabilidad e impermeabilidad de los depósitos cuaternarios fluvio aluviales antiguas en forma de terrazas y formaciones del cretáceo, presentes en el subsuelo de extensiones laterales y verticales, definidos con propiedades georesistivas de las capas y horizontes, susceptibles a los flujos de aguas subterráneas y conductividades hidráulicas, dichos horizontes tienen comportamientos hidrogeológicas siguientes:

Horizonte (H1): Estrato superficial, identificado con valores georesistivos de 11, 59 y 37 ohmios-metro, suelo orgánico de labores agrarios, secos, sueltos,

humedecidos y la base de la capa saturado de agua, registrándose niveles estáticos entre 0,00 a 2.50 metros de profundidad, está compuesta de sedimentos lacustres, depósitos aluviales en forma de terrazas, depósitos fluvio aluviales recientes del cauce actual del río, principalmente conformados de capas de arenas, gravas, con limos y arcillas, porosidad intergranular gruesa y fina, permeabilidad alta, media y baja de parámetros estimados, comprende espesores siguientes.

- De 0,00 a 0.80 metros de profundidad, SEV 03.
- De 0,00 a 0.80 metros de profundidad, SEV 02.
- De 0,00 a 1.40 metros de profundidad, SEV 01.

Horizonte (H2): Capa subyacente conformado de depósitos fluvio aluviales antiguos, conformado de gravas gruesas, gravillas en matriz de arenas y limos, estado cohesionados, permite conductividades hidráulicas altas, parámetros estimados de porosidad granular gruesa y media permeabilidad alta, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuífero de tipo libre, identificado con valores georesistivos de 148, 93 y 62 ohmios-metro, espesores comprendidos:

- Desde 0.80 a 8.70 metros de profundidad, SGV 02
- Desde 1.40 a 43.00 metros de profundidad, SGV 01

Horizonte (H3): Caracterizando a litología y estratigrafía de sedimentos de granulometría media y fina, presenta interestratificaciones de facies intercalados de arenas con limos, contenido mayormente de sedimentos de arena fina, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuícludo de interconexión hidráulica con el acuífero superior, saturado de agua subterránea, permeabilidad media y porosidad granular fina, identificado con valores georesistivos de 37, 32, 36, 34 y 38 ohmios-metro, comprende espesores siguientes:

- De 0.80 a 58.10 metros de profundidad, SEV 03
- De 8.70 a 33.90 metros de profundidad, SEV 02
- De 43.00 a 81.90 metros de profundidad, SEV 01

Horizonte (H4): Identificado con valores georesistivos de 98 y 52 ohmios-metro, compuesta de rocas calcáreas fracturados, intercalado con capas de limo arcillitas, permeabilidad baja, porosidad fisural, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuítardo media y profunda, presenta interconexión hidráulica con el horizonte acuicludo superior, profundidades comprendidos entre:

- De 33.90 a 74.10 metros de profundidad, SEV 02.
- De 74.10 a mayor de 100 metros de profundidad, SEV 02

Horizonte (H5): Monitoreado en SEV 03, identificado con valor georesistivo de 117 ohmios-metros, compuesta de rocas calcáreas masiva o fracturados, permeabilidad baja, porosidad fisural, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuítardo profundo, presenta interconexión hidráulica con el acuicludo superior, profundidad comprendido entre 58.10 metros a mayor de 100 metros de profundidad.

Horizonte (H6): Identificado con valor georesistivo de 35 ohmios metros, en el SEV 01, identificado compuesta de lutitas y arcillitas, permeabilidad muy baja, porosidad semi compactada, profundidad entre 81.90 metros a mayor de 100 metros de profundidad

- **Sección geoelectricas hidrogeológica subterránea B1-B2 (Lamina N° 08).**

Sección geoelectrica hidrogeológica transversal, localizado en el comunidad e ancasaya, en coordenada mencionados en el cuadro N° 06, de corte geoelectrico orientado de sureste a noroeste (SE - NW), sección bidimensional reconstruido con los SEV 06, 05 y 04, con los resultados nos ha permitido identificar capas, estratos y horizontes geoelectricas H1, H2, H3, H4 y H5, parámetros estimados de porosidad y permeabilidad e impermeabilidad de los depósitos cuaternarios compuestos de fluvio aluviales y formaciones del cretáceo, presentes en el subsuelo de extensiones laterales y verticales, definidos con las propiedades georesistivas de las capas y horizontes al flujo de las aguas subterráneas, conductividad hidráulica, dichos horizontes tienen comportamientos hidrogeológicas siguientes:

Horizonte (H1): Estrato superficial, identificado con valores georesistivos de 71, 246, 373, 86 y 60 ohmios-metro, suelo orgánico, humedecidos y sueltos, registrándose niveles estáticos entre 0.00 a 2.80 metros de profundidad, está compuesta de sedimentos lacustres, depósitos fluvio aluviales antiguos y depósitos fluvio aluviales recientes, como gravas, arenas en matriz limosa, porosidad intergranular gruesa a fina, permeabilidad alta a media, parámetros hidrogeológicos estimados, se interpreta los espesores de la capa superior del acuífero y comprende espesores y profundidades siguientes:

- De 0,00 a 1.20 metros de profundidad, SEV 06.
- De 0,00 a 6.40 metros de profundidad, SEV 05.
- De 0,00 a 4.90 metros de profundidad, SEV 04.

Horizonte (H2): Capa subyacente conformado de depósitos fluvio aluviales antiguos, conformado de gravas gruesas, gravillas en matriz de arenas y limos, estado cohesionados, características de conductividad hidráulica, parámetros estimados de porosidad granular gruesa y media permeabilidad alta media, interpretado como acuífero de tipo libre interconectado hidráulicamente con aguas superficiales del río, identificado con valores georesistivos de 63, 99 y 68, ohmios-metro, espesores y profundidades comprendidos:

- De 1.20 a 6.10 metros de profundidad, SEV 06.
- De 6.40 a 59.10 metros de profundidad, SEV 05.
- De 4.90 a 73.40 metros de profundidad, SEV 04.

Horizonte (H3): Conformado de litologías sedimentarias finas, caracterizando, facies intercaladas de arenas y limos, arenas en matriz limoso, permeabilidad media baja y porosidad granular fina, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuicludo, presenta interconexión hidráulica con el acuífero superior y adyacente, saturado de agua subterránea, identificado con valores georesistivos de 30, 32 y 34 ohmios-metro, comprende espesores siguientes:

- De 1.20 a 6.10 metros de profundidad, SEV 06.
- De 6.40 a 59.10 metros de profundidad, SEV 05.
- De 4.90 a 73.40 metros de profundidad, SEV 04.

Horizonte (H4): Detectado en SEV 04, Identificado con valor georesistivo de 24 ohmios-metros, compuesta de arcillas limosas, permeabilidad muy baja, porosidad semi plástica, profundidad interpretado entre 73.40 metros a mayor de 100 metros de profundidad.

Horizonte (H5): Monitoreado en SEV 06, identificado con valor georesistivo de 67 ohmios-metros, compuesta de rocas calcáreas fracturados, intercalado con limos arcillitas, permeabilidad media baja, porosidad fisural, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuífero profundo, presenta interconexión hidráulica con el acuífero superior, espesor comprendido entre 71.30 metros a mayor de 100 metros de profundidad

- **Sección geoelectrica hidrogeológica subterránea C1-C2 (Lamina N° 09).**

Sección geoelectrica hidrogeológica longitudinal, localizado en la comunidad de ancasaya, en coordenada mencionados en el cuadro N° 06, corte geoelectrico orientado de Suroeste a Noreste (SW-NE), sección bidimensional reconstruido con los SEV 06 y 03 con los resultados nos ha permitido identificar capas, estratos y horizontes geoelectricos H1, H2, H3, H4 y H5, parámetros estimados de porosidad y permeabilidad e impermeabilidad de los depósitos de terrazas antiguas, lacustres, aluviales y formaciones del cretáceo, presentes en el subsuelo de extensiones laterales y verticales, definidos con las propiedades georesistivas de las capas y horizontes al flujo de las aguas subterráneas, conductividad hidráulica, dichos horizontes tienen comportamientos hidrogeológicas siguientes:

Horizonte (H1): Capa superficial compuesto de terrazas de arenas limos y arcillas, identificado con valores georesistivos de 71, 15 ohmios-metro, suelo orgánico, humedecidos, registrándose niveles estáticos entre 1.50 a 2.50 metros de profundidad, permeabilidad media y baja, porosidad intergranular media y fina, comprende espesores y profundidades siguientes:

- De 0,00 a 1.20 metros de profundidad, SEV 06.
- De 0.00 a 0.80 metros de profundidad, SEV 03.

Horizonte (H2): Monitoreado en el SEV 06, capa subyacente conformado de depósitos aluviales antiguos, conformado de gravas, arenas en matriz limosa,

estado cohesionados, características de conductividad hidráulica, parámetros hidrogeológicos de acuífero somero, porosidad granular media y permeabilidad media alta, identificado con valor georesistivo de 63, ohmios-metro, espesor comprendido entre 1.20 a 6.10 metros de profundidad.

Horizonte (H3): Conformado de litologías sedimentarias finas, caracterizando, interfaces intercalados de arenas y limos, arenas en matriz limoso, permeabilidad media baja y porosidad granular fina, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuicludo, presenta interconexión hidráulica con el acuífero superior y acuítardo inferior, saturado de agua subterránea, identificado con valores georesistivos de 30, 32, 36 y 37 ohmios-metro, comprende espesores siguientes:

- De 6.10 a 71.30 metros de profundidad, SEV 06.
- De 0.80 a 58.10 metros de profundidad, SEV 03.

Horizonte (H4): Monitoreado en SEV 06, identificado con valor georesistivo de 67 ohmios-metros, compuesta de rocas calcáreas fracturados, intercalado con limos arcillitas, permeabilidad media baja, porosidad fisural, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuítardo profundo, presenta interconexión hidráulica con el acuicludo superior, espesor comprendido entre 71.30 metros a mayor de 100 metros de profundidad.

Horizonte (H5): Monitoreado en SEV 03, identificado con valor georesistivo de 117 ohmios-metros, compuesta de rocas calcáreas masiva o fracturados, permeabilidad baja, porosidad fisural, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuítardo profundo, presenta interconexión hidráulica con el acuicludo superior, profundidad comprendido entre 58.10 metros a mayor de 100 metros de profundidad

- **Sección geoeléctrica hidrogeológica subterránea D1-D2 (Lamina N° 10).**

Sección geoeléctrica hidrogeológica longitudinal, localizado en la comunidad de ancasaya, en coordenada mencionados en el cuadro N° 006, corte geoeléctrico orientado de suroeste a noreste (SW-NE), sección bidimensional reconstruido con los SEV 05 y 02 con los resultados nos ha permitido identificar capas, estratos y horizontes geoeléctricas H1, H2, H3,

H4 y H5, parámetros estimados de porosidad y permeabilidad e impermeabilidad de los depósitos de terrazas antiguas, lacustres, aluviales y formaciones del cretáceo, presentes en el subsuelo de extensiones laterales y verticales, definidos con las propiedades georesistivas de las capas y horizontes al flujo de las aguas subterráneas, conductividad hidráulica, dichos horizontes tienen comportamientos hidrogeológicas siguientes:

Horizonte (H1): Capa superficial compuesto de terrazas antiguas identificado con valores georesistivos de 246, 373 y 59 ohmios-metro, suelo orgánico, seco suelto y humedecidos, compuesta de gravas arenas en matriz limoso, permeabilidad alta media, parámetros estimados de porosidad intergranular gruesa y fina, comprende espesores y profundidades siguientes:

- De 0,00 a 0.80 metros de profundidad, SEV 05.
- De 0.00 a 0.80 metros de profundidad, SEV 02.

Horizonte (H2): Capa subyacente conformado de depósitos aluviales antiguos, conformado de gravas, arenas en matriz limosa, estado cohesionados, características de conductividad hidráulica, parámetros hidrogeológicos de acuífero, registrándose niveles estáticos entre 2.50 a 2.80 metros de profundidad, porosidad granular media y permeabilidad media alta, identificado con valores georesistivos de 373, 65 y 148 ohmios-metro, espesores y profundidades comprendidos:

- De 0,80 a 59.10 metros de profundidad, SEV 05.
- De 0.80 a 8.70 metros de profundidad, SEV 02.

Horizonte (H3): Conformado de litologías sedimentarias finas, caracterizando, facies intercaladas de arenas y limos, arenas en matriz limoso, permeabilidad media baja y porosidad granular fina, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuicludo, presenta interconexión hidráulica con el acuífero superior, saturado de agua subterránea, identificado con valores georesistivos de 34 ohmios-metro, comprende espesores siguientes:

- De 59.10 a mayor de 100 metros de profundidad, SEV 06.
- De 8.70 a 33.90 metros de profundidad, SEV 02.

Horizonte (H4): Identificado con valores georesistivos de 98 y 52 ohmios-metro, compuesta de rocas calcáreas fracturados, intercalado con capas de limo arcillitas, permeabilidad baja, porosidad fisural, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuífero media y profunda, presenta interconexión hidráulica con el horizonte acuífero superior, profundidades comprendidos entre:

- De 33.90 a 74.10 metros de profundidad, SGV 02.
- De 74.10 a mayor de 100 metros de profundidad, SGV 02.

- **Sección geoelectrica hidrogeológica subterránea E1-E2 (Lamina N° 11).**

Sección geoelectrica hidrogeológica longitudinal, localizado en la comunidad de ancasaya, en coordenada mencionados en el cuadro N° 006 en corte geoelectrico orientado de suroeste a noreste (SW-NE), sección bidimensional reconstruido con los SEV 04 y 01, con los resultados nos ha permitido identificar capas, estratos y horizontes geoelectricos H1, H2, H3, H4 y H5, parámetros estimados de porosidad y permeabilidad e impermeabilidad de los depósitos de terrazas antiguas, lacustres, aluviales y formaciones del cretáceo, presentes en el subsuelo de extensiones laterales y verticales, definidos con las propiedades georesistivas de las capas y horizontes al flujo de las aguas subterráneas, conductividad hidráulica, dichos horizontes tienen comportamientos hidrogeológicas siguientes:

Horizonte (H1): Capa superficial compuesto de terrazas antiguas identificado con valores georesistivos de 86, 60 y 37 ohmios-metro, suelo humedecido y saturado de agua, compuesta de gravas arenas en matriz limoso, permeabilidad alta media, parámetros estimados de porosidad intergranular gruesa y fina, comprende espesores y profundidades siguientes:

- De 0,00 a 4.90 metros de profundidad, SEV 04.
- De 0.00 a 1.40 metros de profundidad, SEV 01.

Horizonte (H2): Capa subyacente conformado de depósitos aluviales antiguos, conformado de gravas, arenas en matriz limosa, estado cohesionados, características de conductividad hidráulica, parámetros hidrogeológicos de acuífero, registrándose niveles estáticos entre 0.00 a 0.50 metros de

profundidad, porosidad granular media y permeabilidad media alta, identificado con valores georesistivos de 99, 68, 93 y 62 ohmios-metro, espesores y profundidades comprendidos:

- De 4.90 a 73.40 metros de profundidad, SEV 04.
- De 1.40 a 43.00 metros de profundidad, SEV 01.

Horizonte (H3): Conformado de litologías sedimentarias finas, caracterizando, facies intercaladas de arenas y limos, arenas en matriz limoso, permeabilidad media baja y porosidad granular fina, parámetros hidrogeológicos, interpretados como acuicludo, presenta interconexión hidráulica con el acuífero superior, saturado de agua subterránea, identificado en el SEV 01, con valor georesistivo de 38 ohmios-metro.

Horizonte (H4): Detectado en SEV 04, Identificado con valor georesistivo de 24 ohmios-metros, compuesta de arcillas limosas, permeabilidad muy baja, porosidad semi plástica, profundidad interpretado entre 73.40 metros a mayor de 100 metros de profundidad.

Horizonte (H5): Identificado con valor georesistivo de 35 ohmios-metros, en el SEV 01, identificado compuesta de lutitas y arcillitas, permeabilidad muy baja, porosidad semi compactada, profundidad entre 81.90 metros a mayor de 100 metros de profundidad.

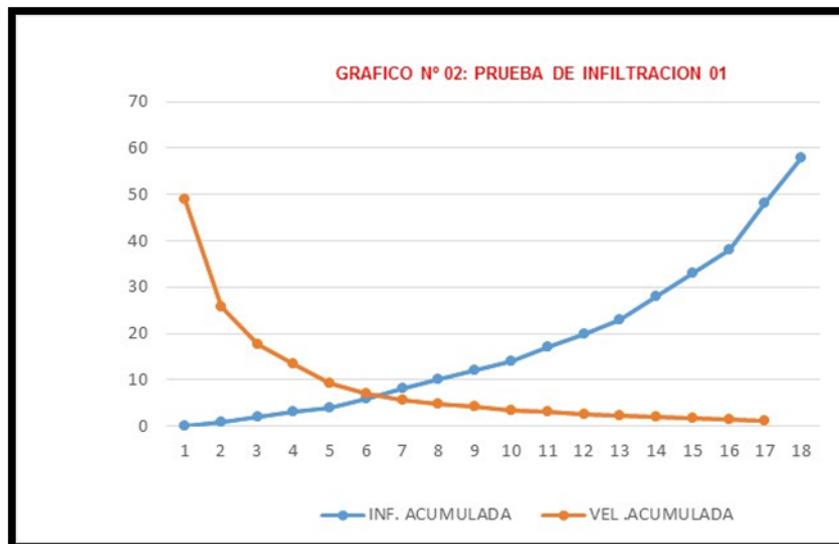
4.4. RECARGA POTENCIAL DEL ACUIFERO

4.4.1. Prueba lámina de infiltración

CUADRO Nº 08: PRUEBA DE INFILTRACION COM ANCASAYA Nº 01

Lugar com ancasaya Fecha 25/10/2013 coordenadas
 Horas de Inicio 7:30 Hora Final 8:30 N
 Tipo de Suelo Franco Arenoso S

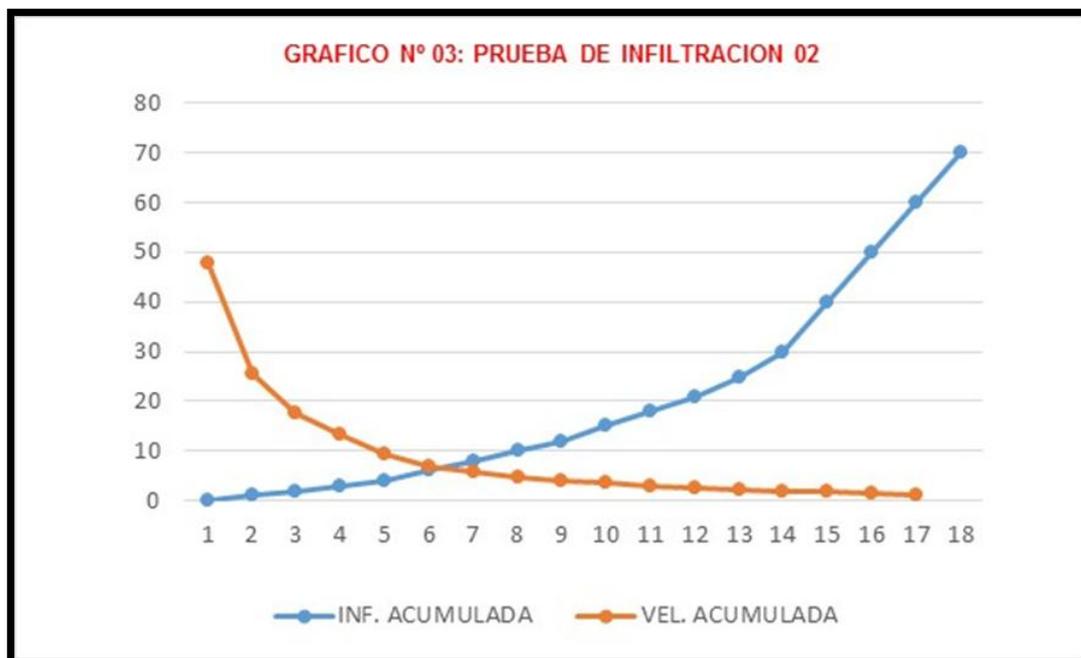
Nº	HORA	TIEMPO		log T acum.	Lamina de infil		log lam. Inf acum	Vel de inf.				VEL . INF.
		Parc.	Acum.		Parc.	Acum.		Instan.	Prom.			
1	7:31	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	7:32	1	1	0.00	1.25	1.25	0.097	75	75.00	0.00	0.00	48.96
3	7:33	1	2	0.301	1.2	2.45	0.389	72	73.50	0.117	0.091	25.649
4	7:34	1	3	0.477	0.9	3.35	0.525	54	67.00	0.251	0.228	17.572
5	7:35	1	4	0.602	0.95	4.3	0.633	57	64.50	0.381	0.362	13.436
6	7:37	2	6	0.778	1.2	5.5	0.740	36	55.00	0.576	0.606	9.205
7	7:39	2	8	0.903	1.32	6.82	0.834	39.6	51.15	0.753	0.816	7.038
8	7:41	2	10	1.000	1.1	7.92	0.899	33	47.52	0.899	1.000	5.716
9	7:43	2	12	1.079	1.05	8.97	0.953	31.5	44.85	1.028	1.165	4.822
10	7:45	2	14	1.146	1.2	10.17	1.007	36	43.59	1.155	1.314	4.176
11	7:48	3	17	1.230	1.2	11.37	1.056	24	40.13	1.299	1.514	3.484
12	7:51	3	20	1.301	0.9	12.27	1.089	18	36.81	1.417	1.693	2.994
13	7:54	3	23	1.362	0.9	13.17	1.120	18	34.36	1.525	1.854	2.628
14	7:59	5	28	1.447	1.3	14.47	1.160	15.6	31.01	1.679	2.094	2.188
15	8:04	5	33	1.519	1.35	15.82	1.199	16.2	28.76	1.821	2.306	1.877
16	8:09	5	38	1.580	1.4	17.22	1.236	16.8	27.19	1.953	2.496	1.645
17	8:19	10	48	1.681	2.9	20.12	1.304	17.4	25.15	2.192	2.827	1.323
18	8:29	10	58	1.763	3.6	23.72	1.375	21.6	24.54	2.425	3.110	1.109
				18.170			15.616			19.470	23.473	



CUADRO Nº 09: PRUEBA DE INFILTRACION COM ANCASAYA Nº 02

Lugar com ancasaya Fecha 25/10/2013 coordenadas
 Horas de Inicio 9:30 Hora Final 10:50 N
 Tipo de Suelo Franco Arenoso S

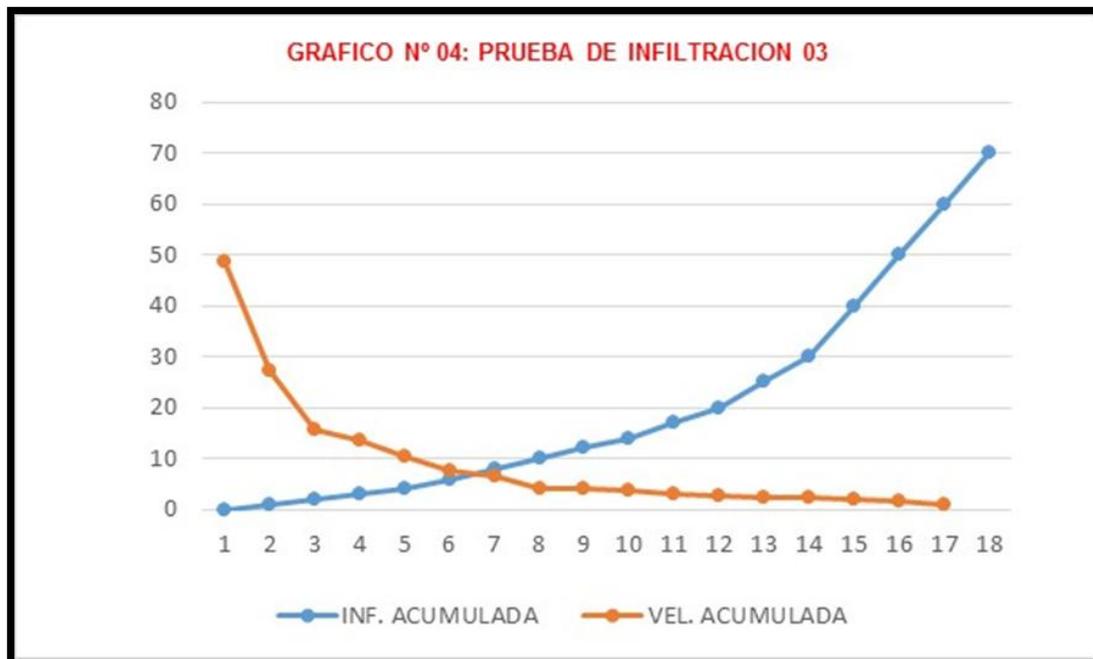
Nº	HORA	TIEMPO		log T acum.	Lamina de infil		log lam. Inf acum	Vel de inf.				VEL . INF.
		Parc.	Acum.		Parc.	Acum.		Instan.	Prom.			
1	9:30	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	9:31	1	1	0.00	1.2	1.2	0.079	72	72.00	0.00	0.00	47.80
3	9:32	1	2	0.301	1.2	2.4	0.380	72	72.00	0.114	0.091	25.456
4	9:33	1	3	0.477	0.9	3.3	0.519	54	66.00	0.247	0.228	17.500
5	9:34	1	4	0.602	0.65	3.95	0.597	39	59.25	0.359	0.362	13.235
6	9:36	2	6	0.778	0.85	4.8	0.681	25.5	48.00	0.530	0.606	9.305
7	9:38	2	8	0.903	0.84	5.64	0.751	25.2	42.30	0.678	0.816	6.950
8	9:40	2	10	1.000	0.9	6.54	0.816	27	39.24	0.816	1.000	5.716
9	9:42	2	12	1.079	0.85	7.39	0.869	25.5	36.95	0.937	1.165	4.620
10	9:45	3	15	1.176	1.2	8.59	0.934	24	34.36	1.098	1.383	3.956
11	9:48	3	18	1.255	1.3	9.89	0.995	26	32.97	1.249	1.576	3.652
12	9:51	3	21	1.322	1.2	11.09	1.045	24	31.69	1.382	1.748	3.012
13	9:55	4	25	1.398	1.2	12.29	1.090	18	29.50	1.523	1.954	2.754
14	10:00	5	30	1.477	1.2	13.49	1.130	14.4	26.98	1.669	2.182	2.215
15	10:10	10	40	1.602	2.25	15.74	1.197	13.5	23.61	1.918	2.567	1.954
16	10:20	10	50	1.699	2.3	18.04	1.256	13.8	21.65	2.134	2.886	1.754
17	10:30	10	60	1.778	2.8	20.84	1.319	16.8	20.84	2.345	3.162	1.325
18	10:50	10	70	1.845	3.5	24.34	1.386	21	20.86	2.558	3.404	1.213
				18.694			15.043			19.559	25.129	



CUADRO N°10: PRUEBA DE INFILTRACION COM ANCASAYA N° 03

Lugar com ancasaya Fecha 26/10/2013 coordenadas
 Horas de Inicio 8:00 Hora Final 9:10 N
 Tipo de Suelo Franco Arenoso S

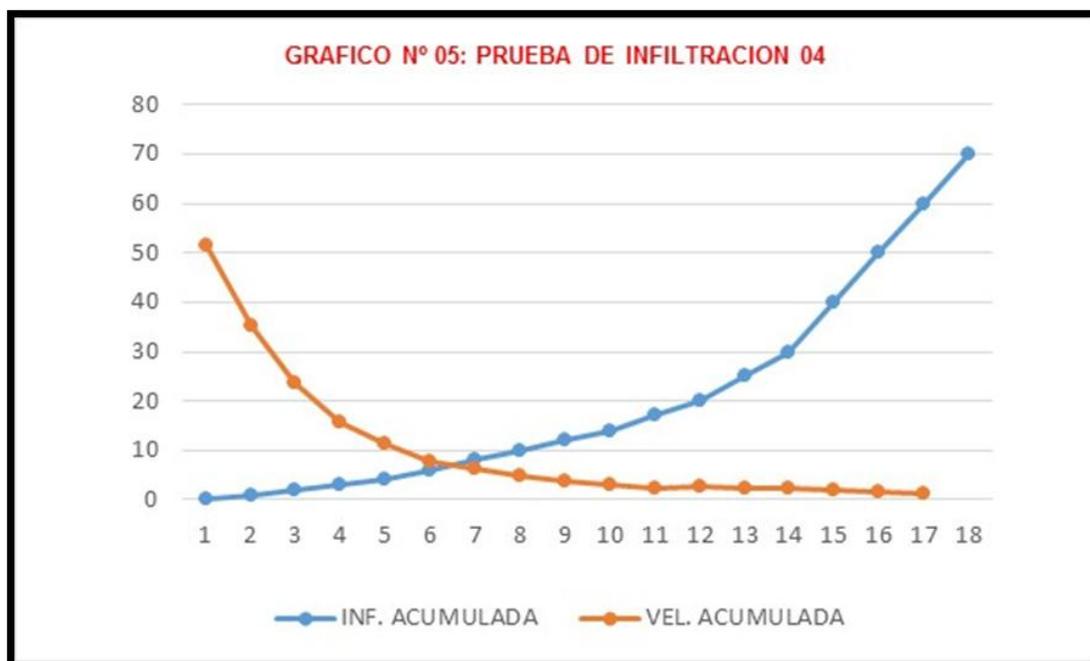
N°	HORA	TIEMPO		log T acum.	Lamina de infil		log lam. Inf acum	Vel de inf.				VEL . INF.
		Parc.	Acum.		Parc.	Acum.		Instan.	Prom.			
1	8:00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	8:01	1	1	0.00	1.15	1.15	0.061	69	69.00	0.00	0.00	48.56
3	8:02	1	2	0.301	1.2	2.35	0.371	72	70.50	0.112	0.091	27.320
4	8:03	1	3	0.477	0.85	3.2	0.505	51	64.00	0.241	0.228	15.650
5	8:04	1	4	0.602	0.58	3.78	0.577	34.8	56.70	0.348	0.362	13.500
6	8:06	2	6	0.778	0.95	4.73	0.675	28.5	47.30	0.525	0.606	10.250
7	8:08	2	8	0.903	0.95	5.68	0.754	28.5	42.60	0.681	0.816	7.540
8	8:10	2	10	1.000	0.9	6.58	0.818	27	39.48	0.818	1.000	6.412
9	8:12	2	12	1.079	0.98	7.56	0.879	29.4	37.80	0.948	1.165	4.025
10	8:14	2	14	1.146	0.95	8.51	0.930	28.5	36.47	1.066	1.314	3.950
11	8:17	3	17	1.230	1.4	9.91	0.996	28	34.98	1.226	1.514	3.621
12	8:20	3	20	1.301	1.25	11.16	1.048	25	33.48	1.363	1.693	3.214
13	8:25	5	25	1.398	1.3	12.46	1.096	15.6	29.90	1.531	1.954	2.542
14	8:30	5	30	1.477	1.25	13.71	1.137	15	27.42	1.680	2.182	2.365
15	8:40	10	40	1.602	2.05	15.76	1.198	12.3	23.64	1.919	2.567	2.514
16	8:50	10	50	1.699	2.35	18.11	1.258	14.1	21.73	2.137	2.886	1.954
17	9:00	10	60	1.778	2.35	20.46	1.311	14.1	20.46	2.331	3.162	1.654
18	9:10	10	70	1.845	3.12	23.58	1.373	18.72	20.21	2.532	3.404	1.021
				18.618			14.986			19.458	24.942	



CUADRO Nº 11: PRUEBA DE INFILTRACION COM ANCASAYA Nº 04

Lugar com ancasaya Fecha 26/10/2013 coordenadas
 Horas de Inicio 9:45 Hora Final 10:53 N
 Tipo de Suelo Franco Arenoso S

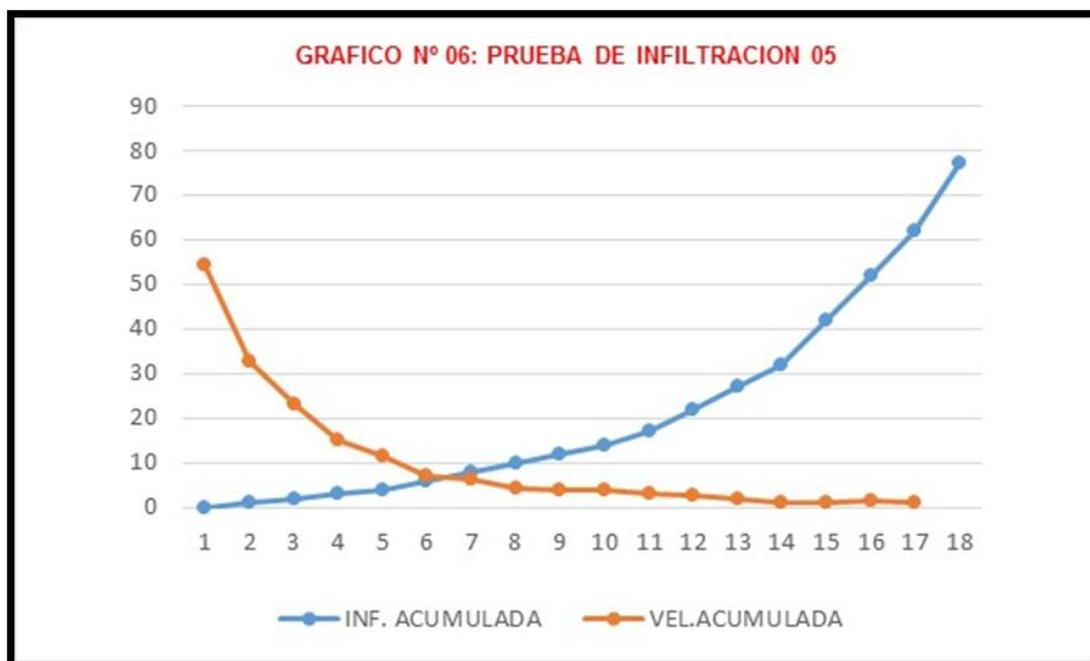
Nº	HORA	TIEMPO		log T acum.	Lamina de infil		log lam. Inf acum	Vel de inf.				VEL . INF.
		Parc.	Acum.		Parc.	Acum.		Instan.	Prom.			
1	9:45	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	9:46	1	1	0.00	2.45	2.45	0.389	147	147.00	0.00	0.00	51.54
3	9:47	1	2	0.301	1.23	3.68	0.566	73.8	110.40	0.170	0.091	35.150
4	9:48	1	3	0.477	0.65	4.33	0.636	39	86.60	0.304	0.228	23.510
5	9:49	1	4	0.602	0.48	4.81	0.682	28.8	72.15	0.411	0.362	15.642
6	9:51	2	6	0.778	0.45	5.26	0.721	13.5	52.60	0.561	0.606	11.254
7	9:53	2	8	0.903	0.32	5.58	0.747	9.6	41.85	0.674	0.816	7.640
8	9:55	2	10	1.000	0.82	6.4	0.806	24.6	38.40	0.806	1.000	6.254
9	9:57	2	12	1.079	0.86	7.26	0.861	25.8	36.30	0.929	1.165	5.021
10	9:59	2	14	1.146	0.85	8.11	0.909	25.5	34.76	1.042	1.314	3.654
11	10:02	3	17	1.230	1.42	9.53	0.979	28.4	33.64	1.205	1.514	3.021
12	10:05	3	20	1.301	0.541	10.071	1.003	10.82	30.21	1.305	1.693	2.513
13	10:08	5	25	1.398	0.95	11.021	1.042	11.4	26.45	1.457	1.954	2.850
14	10:13	5	30	1.477	0.845	11.866	1.074	10.14	23.73	1.587	2.182	2.365
15	10:23	10	40	1.602	1.351	13.217	1.121	8.106	19.83	1.796	2.567	2.321
16	10:33	10	50	1.699	2.254	15.471	1.190	13.524	18.57	2.021	2.886	1.952
17	10:43	10	60	1.778	2.6541	18.1251	1.258	15.9246	18.13	2.237	3.162	1.654
18	10:53	10	70	1.845	3.652	21.7771	1.338	21.912	18.67	2.469	3.404	1.354
				18.618			15.323			18.974	24.942	



CUADRO Nº 12: PRUEBA DE INFILTRACION COM ANCASAYA Nº 05

Lugar com ancasaya Fecha 26/10/2013 coordenadas
 Horas de Inicio 14:11 Hora Final 15:33 N
 Tipo de Suelo Franco Arenoso S

Nº	HORA	TIEMPO		log T acum.	Lamina de infil		log lam. Inf acum	Vel de inf.				VEL . INF.
		Parc.	Acum.		Parc.	Acum.		Instan.	Prom.			
1	14:11	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	14:12	1	1	0.00	2.5	2.5	0.398	150	150.00	0.00	0.00	54.21
3	14:13	1	2	0.301	1.21	3.71	0.569	72.6	111.30	0.171	0.091	32.510
4	14:14	1	3	0.477	0.6	4.31	0.634	36	86.20	0.303	0.228	23.012
5	14:15	1	4	0.602	0.45	4.76	0.678	27	71.40	0.408	0.362	15.241
6	14:17	2	6	0.778	0.4	5.16	0.713	12	51.60	0.555	0.606	11.321
7	14:19	2	8	0.903	0.45	5.61	0.749	13.5	42.08	0.676	0.816	6.954
8	14:21	2	10	1.000	0.86	6.47	0.811	25.8	38.82	0.811	1.000	6.321
9	14:23	2	12	1.079	0.79	7.26	0.861	23.7	36.30	0.929	1.165	4.320
10	14:25	2	14	1.146	0.82	8.08	0.907	24.6	34.63	1.040	1.314	3.951
11	14:28	3	17	1.230	1.32	9.4	0.973	26.4	33.18	1.197	1.514	3.652
12	14:33	5	22	1.342	0.84	10.24	1.010	10.08	27.93	1.356	1.802	3.012
13	14:38	5	27	1.431	0.98	11.22	1.050	11.76	24.93	1.503	2.049	2.651
14	14:48	5	32	1.505	0.65	11.87	1.074	7.8	22.26	1.617	2.265	2.015
15	14:48	10	42	1.623	1.25	13.12	1.118	7.5	18.74	1.815	2.635	1.095
16	15:08	10	52	1.716	2.45	15.57	1.192	14.7	17.97	2.046	2.945	1.062
17	15:18	10	62	1.792	2.54	18.11	1.258	15.24	17.53	2.255	3.213	1.321
18	15:33	15	77	1.886	3.55	21.66	1.336	14.2	16.88	2.520	3.559	1.021
				18.814			15.332			19.202	25.562	



fc 1	15.616
fc 2	15.043
fc 3	14.986
fc 4	15.323
fc 5	15.332
Total	76.300
Promedio	15.260

4.4.2. Determinación de capacidad de campo

CUADRO Nº 14: DETERMINACION DE CAPACIDAD DE CAMPO			
	%	En Volumen	
WHa	732 gr	HV%= HP%*Dap =mm/10cm	
Wsa	568 gr	37.02 %	= 37.02 mm/ 10 cm
HP%CC(a)	28.87 %	CC =	37.02

4.4.3. Determinación de punto de marchitez

CUADRO Nº 15: DETERMINACION DE PUNTO DE MARCHITES			
	%	En Volumen	
PM=%CC*0.75-5			
HP%CC(a)	16.37 %	20.99 %	= 20.99 mm/ 10 cm

4.4.4. Determinación de densidad aparente

CUADRO Nº 16: DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE	
	%
Horizonte A	
Peso de toda la muestra fresca	17.85 g
Peso de la submuestra fresca	1.32 g
Peso de la submuestra seca	1.1 g
Volumen de agua en el pozo	11.6 cm ³
Dap	14.875 g 1.28 g/cm ³

CUADRO Nº 017: CUADRO CALCULO DE RECARGA POTENCIAL DE ACUIFERO MEDIANTE EL BALANCE DEL SUELO

zona de estudio	com ancasaya	
fecha	2013.00	
textura del suelo	franco arenoso	
fc (mm)	15.26	
Kv	0.01%	0.10
Kp	0.01%	0.30
Kfc	0.01%	0.0023
Ci	0.01%	0.40 ok
DS (g/cm ³)	1.46	
PR (mm)	500.00	
Hsi (mm)	37.02	capacidad de campo
Mes con que se inicia	ENERO A DICIEMBRE	9.00
Cfo.	bosques muy densos	0.20 otros
		1.20

	DATOS DE CAMPO	
	%	(mm)
CC	28.87	37.02
PMP	16.37	20.99
CC-PMP	12.51	16.04

Concepto	ene	feb	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.	total
P (mm)	174.58	155.88	127.81	49.23	10.49	3.06	4.74	14.35	24.98	31.13	50.90	85.54	732.71
Ret (mm)	0.40	0.36	0.29	0.11	0.02	0.01	0.01	0.03	0.06	0.07	0.12	0.20	1.68
Pf (mm)	70.07	62.57	51.30	19.76	4.21	1.23	1.90	5.76	10.03	12.49	20.43	34.33	294.08
Esc (mm)	104.11	92.96	76.22	29.36	6.26	1.82	2.83	8.56	14.90	18.56	30.36	51.01	436.95
T (°C)	12.10	11.40	11.80	11.40	8.50	6.70	8.10	8.50	10.50	12.30	12.20	12.70	126.20
Ps (%)	28.20	29.62	28.82	33.60	36.12	36.78	37.88	38.93	37.27	34.61	33.78	29.43	405.04
ETP (mm)	385.40	395.28	389.91	448.30	433.82	411.31	448.01	467.51	481.88	476.21	463.16	410.27	5211.07
Hsi (mm)	95.00	95.00	95.00	95.00	105.00	109.00	95.00	146.00	146.00	146.00	146.00	116.00	
C1	8.98	8.52	7.81	5.85	5.50	5.56	4.73	8.15	8.42	8.57	9.07	8.06	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	144.08	136.58	125.31	93.77	88.22	89.24	75.92	130.77	135.04	137.51	145.44	129.35	
HSf (mm)	95.00	95.00	95.00	85.00	95.00	98.00	92.00	125.00	95.00	95.00	95.00	95.00	
Rp (mm)	16.07	27.57	26.30	17.76	3.21	3.23	2.80	1.46	15.43	19.99	32.03	19.73	185.58

4.4.5. Ubicación de zonas favorables para la perforación de pozo de explotación de agua subterránea

- **Criterios hidrogeológicos considerados en la ubicación de la zona favorable**

Para definir la ubicación de la zona favorable para la perforación de pozos de explotación de aguas subterráneas se ha tomado en cuenta los resultados de geología de sus existencia de ojos de agua (manantes) y prospección geofísica interpretada con criterio hidrogeológico, en relación a la configuración del sub suelo y profundidad de saturación del medio físico o del horizonte acuífero productor los mismos que se han coadyuvado con las necesidades y posibilidades de coincidencia con la infraestructura existencia y futura.

- Las recargas de los acuíferos existentes en el sub suelo de la zona de estudio recibe la alimentación permanente de los manantes existentes y la precipitación pluvial actividad que se realiza principalmente en las épocas de precipitación pluvial.
- Se ha evidenciado que el acuífero se encuentra a una profundidad entre 8 a 12 metros. Luego de la observación de los pozos tipo caizón.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio hidrogeológico se ha planteado ubicar el pozo tubular de explotación entre las coordenadas, 435434; 8220590 el mismo está ubicado en donde se ha ubicado el SEV N° 04. En donde se puede observar condiciones hidrogeológicas favorables.

- **Características del pozo**

La característica del pozo de explotación de aguas subterráneas debe de cumplir los siguientes requisitos como son:

- Diámetro de pozo 8"
- Motor sumergible min 40 hp (calcular de acuerdo a la longitud y la columna de agua a que se va a construir
- Profundidad optima del pozo 50 ml en donde debe de traspasar el acuífero y utilizar parte de acuícludo.

- La potencia de la electrobomba deberá de calcularse una vez perforada el pozo y la prueba de bombeo de acuerdo a la dimensión del reservorio de almacenamiento y distribución. Deberá de considerarse la columna de agua y la longitud del mismo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En los SEVs. 01, 02, 04, 05. Varían la resistividad del terreno de 93 a 373 m-Ω denominado como horizonte 02 conformado de gravas, gravillas en matriz de arenas y limos, de espesor de 0.70 a 73.4 ml de profundidad al cual se le pueden denominar como una zona acuífera.
- En los SEVs 03 y 06 se ha podido identificar que la variación de resistividad de terreno está 37 a 63 m-Ω y un espesor de 0.2 a 4.90 metros de profundidad denominado como horizonte 02 al cual se le puede identificar como una zona pobre de acuífero, sin embargo se ha podido detectar presencia de horizonte 03 con variaciones de resistividad de terreno entre 30 a 36 m-Ω de espesor entre 42.20 y 46.70 metros con presencia de estratos de intercalaciones de arenas con lentes de limos, saturados de agua subterránea al cual se le puede determinar como acuicludo con presencia de aguas subterráneas.
- Se puede identificar los estratos del horizontes 02 de interés hidrogeológico en vista que este horizonte está conformado por material granular de gravas, gravillas al cual se le denomina como mayor productor de reservas de acuíferos
- Se ha podido identificar que en la secciones c1 - c2 entre los SEV06 y SEV03 está conformado de mantos de acuicludo conformado de lentes de limo y arenas el cual también puede ser aprovechado para la explotación de aguas subterráneas.
- El manto del acuífero y acuicludo de agua subterránea está emplazada en un diámetro entre 250 metros lineales.
- Se ha concluido que en el punto de SEV 04 se plantea ubicar la perforación de pozo tubular en donde se ha podido identificar como zona favorable ya que se puede analizar al manto acuífero con un espesor de 44 ml de profundidad de acuerdo a la columna geológica
- Se concluye la recarga potencial del acuífero se ha llegado a la conclusión en el área de estudio en donde se determina de recarga potencial anual del acuífero 185.58 mm/m²/año.
- se concluye que la mayor recarga de los acuíferos es proveniente de precipitaciones pluviales

RECOMENDACIONES

- Se recomienda instalar el pozo SEV: 04. En vista que en esta zona se puede identificar acuífero libre de acuerdo a las características mostradas en las secciones B1 - B2.
- Se recomienda que para plantear la perforación de pozo tubular se deberá de tomar en cuenta el nivel de abatimiento para evitar la sobre explotación de aguas subterráneas.
- Se recomienda utilizar tubería de fierro galvanizado de ϕ de 8" y cribado entre los 45 a 25 ml.
- Se recomienda instalarse la electrobomba sumergible de eje vertical a una profundidad entre 40 a 45 metros de profundidad
- Se recomienda que se debe de explotar el agua de adecuadamente de acuerdo a la demanda que sea necesario.
- Es necesario profundizar este tipo de estudios para poder determinar el potencial hídrico a nivel de cuencas en vista que se ha revisado las bibliografías que el departamento de puno no está considerado como una zona acuífera.



BIBLIOGRAFÍA

APARICIO MIJARES, Francisco Javier. (1992), "Fundamentos de hidrología de superficie" Edición grupo noriega editores LLMUSA.

AUGE, Miguel. (2008) "Métodos geoelectricos para la prospección de agua subterránea" Buenos Aires - Argentina.

BARRIALES GAMARRA, Samuel. (2006), "Perforación y diseño de pozos tubulares" Una – Puno, Perú.

BATEMAN, Allen. (2007), "Hidrología básica y aplicada", Grupo de investigación en transporte de sedimentos.

BEDIENT, P.B.; Rifai, H.S.; Newell, C.J.; (1994); groundwater contamination, transport and remediation.

BENITEZ; 1972; "Captación de agua subterránea", 2da Edición.

BRUCE MISSTEAR, David Banks, LEWIS CLARK. (2006) Water Wells and boreholes Editorial John Wiley & Sond, Ltda.

CANDIA PARRAGUIRRE, Claudia. (2002), Tesis "Sondaje eléctrico para prospección de suelos y determinación de napas subterráneas" Santiago - Chile.

CHÁVEZ DÍAZ, Rosendo. (1994). "Hidrología para ingenieros".

CHELOTTI, L., ACOSTA, N., FOSTER, M., (2010) "Geofísica aplicada" Chubut-Argentina.

CHEREQUE MORAN, Wendor. (1992), "Hidrología" pontificia universidad católica del Perú Lima - Perú.

CUEVAS B. José. (2009), "Fundamentos de mecánica de suelos para ingenieros" Edición J&G. Córdoba – Argentina.

CUSTODIO, E. Y LLAMAS. (2001), "Hidrología del subsuelo", 3ra Edición.

DINGMAN, L. (2002), "Physical hydrology", 2en Edition.

Doménico, Patrick A., AND Franklin W. SCHWARTZ. "Physical and chemical hydrogeology".

EDWARD A. KELLER, (2012) "Introduction to environmental geology", 5/E, prentice hall.

FETTER, C.W.; (2001); "Applied hydrogeology", 4ta Edition.

G. CASTANY (1975), "Prospección y explotación de las aguas subterráneas". Edición OMEGA México.

JOHNSON, SCREENS. (1975); "El agua subterránea y los pozos", 1ra Edición.

LYNSLEY, KOHLER, Paulus, (1994), "Hidrología para ingenieros", Mac Graw Hill, México.

MONSALVE S. G. (1995) "Hidrología en la ingeniería" Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá – Colombia.

MOORE, J.E. (2002), Field "Hydrogeology".

NIELSEN, DM. (2005), "Environmental site characterization and groundwater monitoring". 2nd Edition.

NONNER, J.C. (2003), "Introduction to hydrogeology".

PROGEO, Alberto. (1997), "Prospecciones geofísicas para agua subterránea", Córdoba – Argentina.

ROSSEL, F. CHOQUE, L. Julio, H.; (1992). "Guía de germoplasma de pastos nativos".

SANCHEZ SAN ROMAN, Javier. (2009), "Prospección geofísica" dpto. De geología de la universidad Salamanca, España.

SCHWARTZ, F. W. Y H. Zhang, (2003), "Fundamentals of groundwater". Wiley, USA

SERRUTO, C. R. (1987). "Riegos y drenajes". Fca. Una – Puno.

TODD D. K., Mays L.W. (2005), "Groundwater hydrology" John Wiley&sons, USA

VÉLEZ OTÁLVARO, María Victoria. (1999), "Hidráulica de aguas subterráneas" Edición, facultad de minas universidad nacional de Colombia sede Medellín.

VILLON BEJAR, Máximo. (2002), "HIDROLOGÍA". Editorial VILLÓN, Lima-Perú.

ZHOU, Y. (2008); "Groundwater monito ring" unesco-ihe lecture notes.

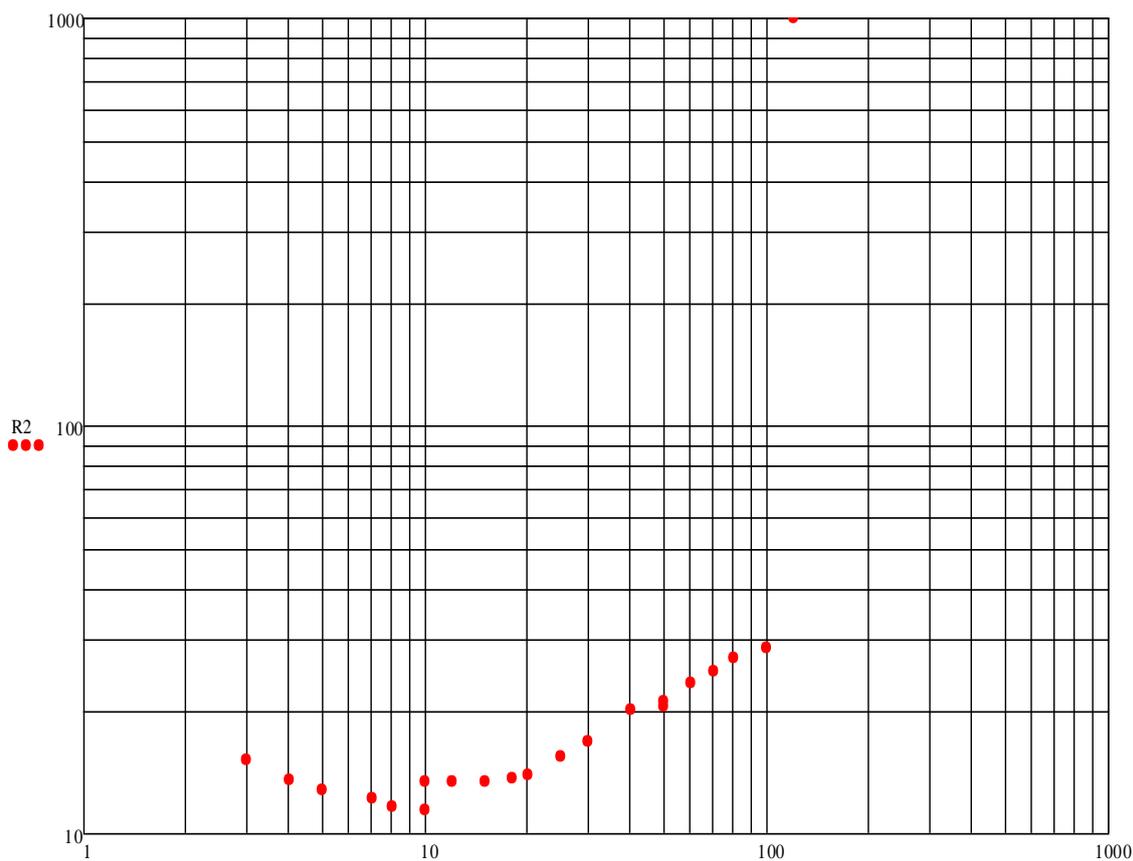
ANEXO I: Datos de precipitación pluvial, temperaturas y hora sol.

PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA (mm)													
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	69.00	25.30	101.50	36.00	16.00	0.00	0.00	8.50	39.50	13.50	75.50	4.40	389.20
1965	10.60	21.80	21.70	6.40	0.80	0.00	0.00	0.00	26.30	14.00	10.50	106.50	218.60
1966	56.00	86.50	23.00	21.00	52.40	0.00	1.20	3.20	23.10	30.20	15.23	101.30	413.13
1967	16.50	35.60	105.80	12.70	13.30	0.00	0.00	0.00	39.80	36.70	14.80	112.20	387.40
1968	100.40	161.30	134.90	36.00	31.30	19.90	4.20	1.00	16.10	23.60	139.00	51.70	719.40
1969	233.40	201.20	175.20	26.50	12.50	4.51	2.30	32.50	15.36	18.20	21.30	39.90	782.87
1970	127.90	143.30	177.70	57.70	17.40	2.40	3.70	0.00	51.50	25.90	24.10	120.90	752.50
1971	117.80	217.30	42.50	47.20	1.80	10.10	0.10	20.30	0.00	18.40	72.20	110.50	658.20
1972	227.20	120.20	85.90	21.70	0.00	0.00	6.40	4.50	27.70	15.70	28.60	122.40	660.30
1973	269.30	142.80	163.90	83.50	12.20	0.00	9.90	20.10	40.60	29.10	23.40	47.90	842.70
1974	211.00	288.80	60.00	49.00	0.00	4.00	0.00	107.10	10.00	35.00	15.00	95.20	875.10
1975	162.00	191.10	105.00	23.00	37.00	27.00	0.00	10.00	41.00	62.00	9.00	202.00	869.10
1976	241.00	157.00	101.00	25.00	11.80	3.00	1.00	47.00	68.00	4.00	6.00	78.00	742.80
1977	87.00	156.00	232.00	4.00	1.30	0.00	15.60	2.80	58.40	39.40	104.80	76.90	778.20
1978	211.00	120.00	81.40	23.00	0.00	0.00	5.10	11.40	28.60	7.90	124.60	53.50	666.50
1979	125.60	265.30	123.60	36.21	3.20	0.00	5.30	6.20	52.20	12.50	25.60	85.20	740.91
1980	200.30	210.30	109.30	21.30	2.10	0.00	9.30	5.40	32.50	19.50	29.80	95.60	735.40
1981	196.50	213.50	162.30	23.50	1.00	0.00	8.20	5.80	23.50	25.60	98.50	65.80	824.20
1982	231.50	215.30	145.30	51.00	3.20	3.20	6.20	8.40	14.50	29.30	35.40	64.80	808.10
1983	214.50	201.20	165.80	12.50	2.10	0.00	4.50	5.50	18.90	85.20	65.70	98.00	873.90
1984	242.40	284.30	179.80	28.50	16.60	9.20	3.00	12.60	1.00	94.40	73.90	45.80	991.50
1985	134.40	287.60	144.80	69.80	29.20	5.20	0.00	11.40	65.20	49.40	196.60	181.00	1,174.60
1986	162.30	261.10	194.30	111.30	5.80	0.00	3.40	4.30	20.30	23.90	45.50	133.70	965.90
1987	227.60	80.10	69.50	29.50	1.10	7.30	19.10	4.80	20.20	46.10	89.30	18.00	612.60
1988	158.70	53.30	169.80	101.30	13.70	0.40	2.00	0.00	19.80	31.30	9.00	71.40	630.70
1989	214.80	113.20	135.00	91.30	0.30	3.90	7.80	9.60	30.60	14.20	18.10	50.90	689.70
1990	151.20	39.10	61.50	48.90	25.00	3.20	0.00	15.50	7.40	65.90	101.20	127.80	646.70
1991	74.20	75.20	115.10	50.60	20.00	3.50	6.40	4.00	14.20	45.50	17.30	63.40	489.40
1992	151.90	88.80	29.70	8.20	0.00	1.60	1.40	55.50	2.40	38.80	57.80	45.10	481.20
1993	191.70	36.70	125.30	65.30	1.50	1.00	0.00	45.30	20.00	23.80	65.30	94.20	670.10
1994	129.40	126.70	100.20	58.10	14.80	0.00	0.00	0.00	5.20	10.80	39.50	117.10	601.80
1995	112.90	80.20	138.30	14.60	5.70	1.40	0.00	4.20	9.60	11.20	47.50	113.40	539.00
1996	245.60	141.10	33.90	31.50	2.00	0.00	7.20	30.50	11.50	9.50	83.20	86.30	682.30
1997	288.00	190.80	122.90	60.70	1.40	0.00	0.00	61.70	96.10	27.10	91.70	50.20	990.60
1998	97.30	112.60	54.70	59.90	0.00	13.00	0.00	10.20	4.60	41.00	47.10	41.10	481.50
1999	201.30	201.50	129.80	103.50	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	5.20	52.30	95.60	801.10
2000	200.00	234.50	203.60	95.60	1.80	0.00	0.00	5.60	13.50	32.20	45.60	65.20	897.60
2001	298.90	231.80	162.20	44.10	2.50	0.10	15.00	23.90	12.20	58.00	33.80	106.90	989.40
2002	108.20	242.70	228.50	156.80	20.90	9.20	43.60	15.20	10.70	69.80	80.70	108.00	1,094.30
2003	168.10	78.90	172.00	14.50	24.30	0.50	0.00	10.30	52.20	14.10	17.90	89.30	642.10
2004	286.10	132.50	52.60	19.40	10.20	1.60	22.10	38.30	15.90	2.00	22.40	63.20	666.30
2005	125.10	142.50	78.70	23.60	8.30	0.00	0.00	0.00	26.20	58.70	55.70	88.50	607.30
2006	208.40	112.90	288.00	59.60	22.30	0.00	0.00	0.00	15.60	26.90	55.60	56.80	846.10
2007	199.80	245.60	97.30	98.60	5.60	0.00	5.60	0.00	25.30	36.50	54.30	98.60	867.20
2008	200.10	112.90	201.30	103.50	23.10	0.00	2.30	0.00	19.40	52.40	21.50	103.50	840.00
2009	261.50	245.60	195.30	100.20	9.50	3.20	1.90	5.60	21.90	21.30	20.00	49.80	935.80
2010	253.60	288.00	185.20	54.60	8.50	5.30	2.50	12.50	9.80	19.20	19.80	109.80	968.80
2011	209.70	97.30	164.80	39.70	12.50	1.20	2.00	12.00	22.00	38.00	57.00	73.00	729.20
2012	142.80	127.00	111.00	52.00	8.00	5.00	3.90	10.50	11.80	12.50	35.60	111.20	631.30
PROM	174.6	155.9	127.8	49.2	10.5	3.1	4.7	14.4	25.0	31.1	50.9	85.5	732.7
STD	69.00	76.57	59.10	33.45	11.26	5.27	7.58	19.96	19.26	20.60	38.38	36.62	190.58
MIN	10.6	21.8	21.7	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	6.0	4.4	218.6
MAX	298.9	288.8	288.0	156.8	52.4	27.0	43.6	107.1	96.1	94.4	196.6	202.0	1174.6
MEDIANA	196.5	142.8	125.3	44.1	8.0	0.5	2.3	8.4	20.0	26.9	45.5	88.5	735.4

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (° C)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1964	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1965	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1966	10.90	10.90	9.70	7.50	6.50	4.40	4.70	6.70	8.50	10.70	10.30	10.60	8.45
1967	10.80	10.40	9.70	8.20	6.90	4.90	4.60	5.50	8.20	9.10	9.80	8.80	8.08
1968	9.20	9.70	8.50	7.00	5.30	4.00	2.90	5.00	6.80	9.50	9.80	9.30	7.25
1969	9.50	10.00	10.20	9.20	6.90	4.70	4.00	4.40	7.30	9.80	11.10	11.00	8.18
1970	10.30	10.40	9.10	8.40	6.20	5.30	4.30	5.60	8	8.90	9.60	10.20	8.02
1971	9.80	9.00	9.40	7.50	4.80	-1	2.90	5.10	6.60	7.40	8.80	-1	-1
1972	9.40	9.20	9.30	8.70	5.50	3.20	4.60	5.90	8.10	9.50	11.00	10.20	7.88
1973	10.90	11.40	10.20	9.50	7.20	3.90	3.90	6.10	7.60	10.00	10.20	9.90	8.40
1974	9.40	9.70	9.20	7.80	5.40	4.40	5.20	5.10	7.50	8.80	9.70	10.10	7.69
1975	9.30	9.80	9.60	8.70	6.80	5.20	3.10	5.50	8.30	7.90	9.70	9.10	7.75
1976	8.90	9.60	9.40	9.30	6.00	4.50	4.50	5.40	6.80	8.40	9.00	10.10	7.66
1977	10.60	10.00	10.00	8.40	5.70	3.10	5.00	5.20	7.90	8.70	10.30	10.10	7.92
1978	10.20	10.60	9.60	9.00	6.10	5.00	3.50	6.10	7.10	8.60	10.10	10.50	8.03
1979	9.70	10.60	10.50	8.90	5.80	6.00	4.30	5.10	7.80	9.80	10.80	10.60	8.33
1980	11.00	10.90	10.10	8.60	6.20	5.30	-1	-1	-1	10.00	10.70	10.40	-1
1981	10.70	10.10	9.90	8.00	6.30	3.90	4.60	5.80	6.80	9.60	11.10	11.10	8.16
1982	10.20	10.90	10.60	8.90	5.60	4.90	4.50	5.90	7.60	9.80	10.70	11.00	8.38
1983	12.00	11.40	11.60	10.50	7.50	5.80	5.90	7.80	9.20	9.70	10.40	10.30	9.34
1984	9.50	9.80	10.30	9.20	8.00	6.30	4.80	6.00	7.00	10.10	-1	-1	-1
1985	10.30	10.20	9.70	9.60	7.80	5.70	4.30	7.20	8.90	9.30	9.30	9.20	8.46
1986	10.30	10.00	9.70	9.60	5.40	4.80	3.90	6.00	7.90	9.60	10.40	10.70	8.19
1987	10.80	10.60	-1	9.10	7.70	-1	-1	7	8.80	9.30	-1	-1	-1
1988	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1989	9.90	9.50	9.80	9.10	7.20	5.80	4.70	6.40	8.30	10.50	10.00	-1	-1
1990	8.70	8.90	8.40	10.40	7.50	5.70	5.00	6.20	7.90	10.20	11.40	10.90	8.43
1991	11.00	11.00	11.20	9.30	7.20	5.40	8.10	8.50	7.60	9.70	10.20	10.80	9.17
1992	9.80	10.30	9.90	9.00	6.60	6.00	4.80	7.20	7.80	10.40	-1	-1	-1
1993	9.90	10.60	10.40	10.00	7.90	5.80	4.60	6.90	10.50	12.30	12.20	12.70	9.48
1994	11.90	11.00	11.80	11.40	8.50	6.70	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1995	12.10	10.90	11.00	9.70	6.80	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
N° AÑOS	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
PROM	12.10	11.40	11.80	11.40	8.50	6.70	8.10	8.50	10.50	12.30	12.20	12.70	9.48
STAND.	3.38	3.34	3.70	3.04	2.39	2.49	2.44	2.87	3.55	3.92	4.93	5.30	4.41

ANEXO II: Interpretaciones graficas de resistividad de terreno

Representación gráfica SEV 01



AB :=

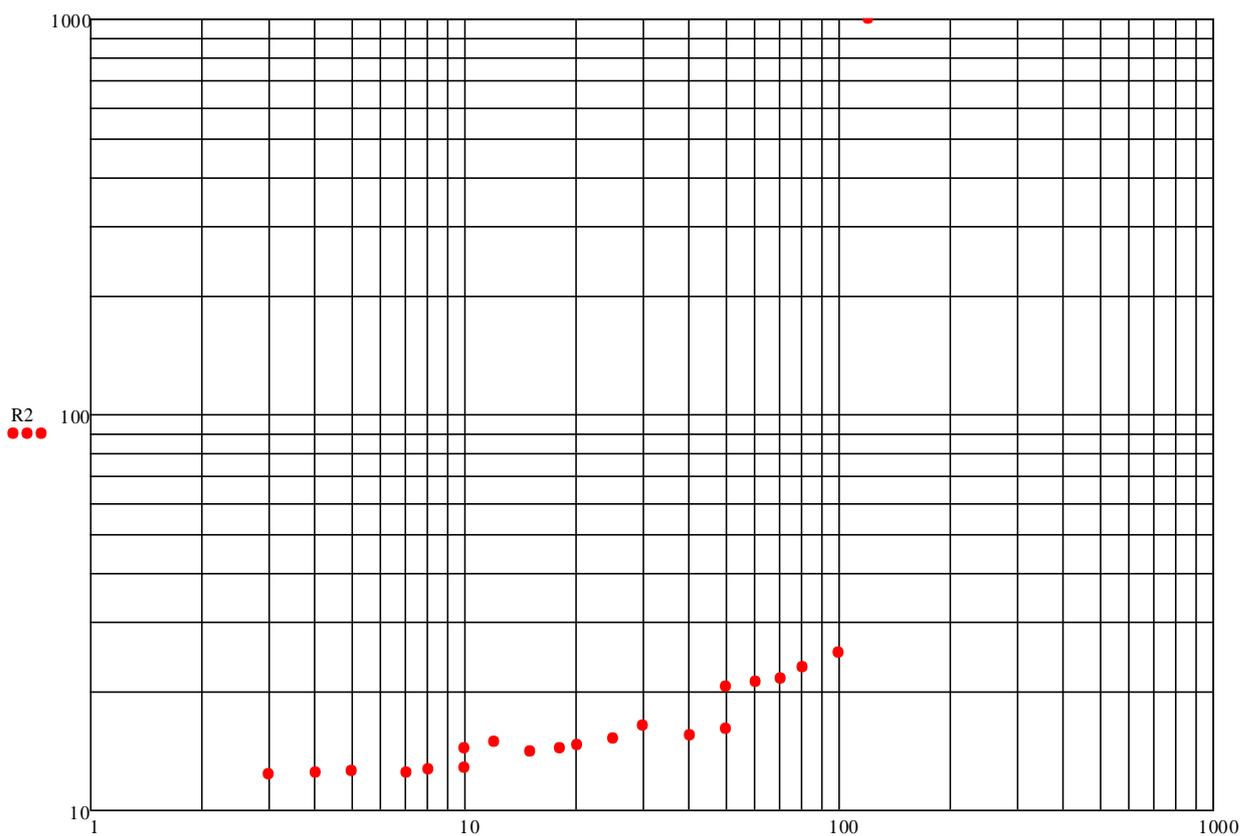
	0
0	3
1	4
2	5
3	7
4	8
5	10
6	10
7	12
8	15
9	18
10	20
11	25
12	30
13	40
14	50
15	50
16	60
17	70
18	80
19	100
20	120
21	...

AB

R2 :=

	0
0	15.12
1	13.54
2	12.76
3	12.18
4	11.66
5	11.43
6	13.44
7	13.45
8	13.35
9	13.66
10	13.9
11	15.42
12	16.84
13	20.19
14	21.09
15	20.45
16	23.28
17	24.9
18	26.93
19	28.41
20	999
21	

Representación gráfica SEV 02



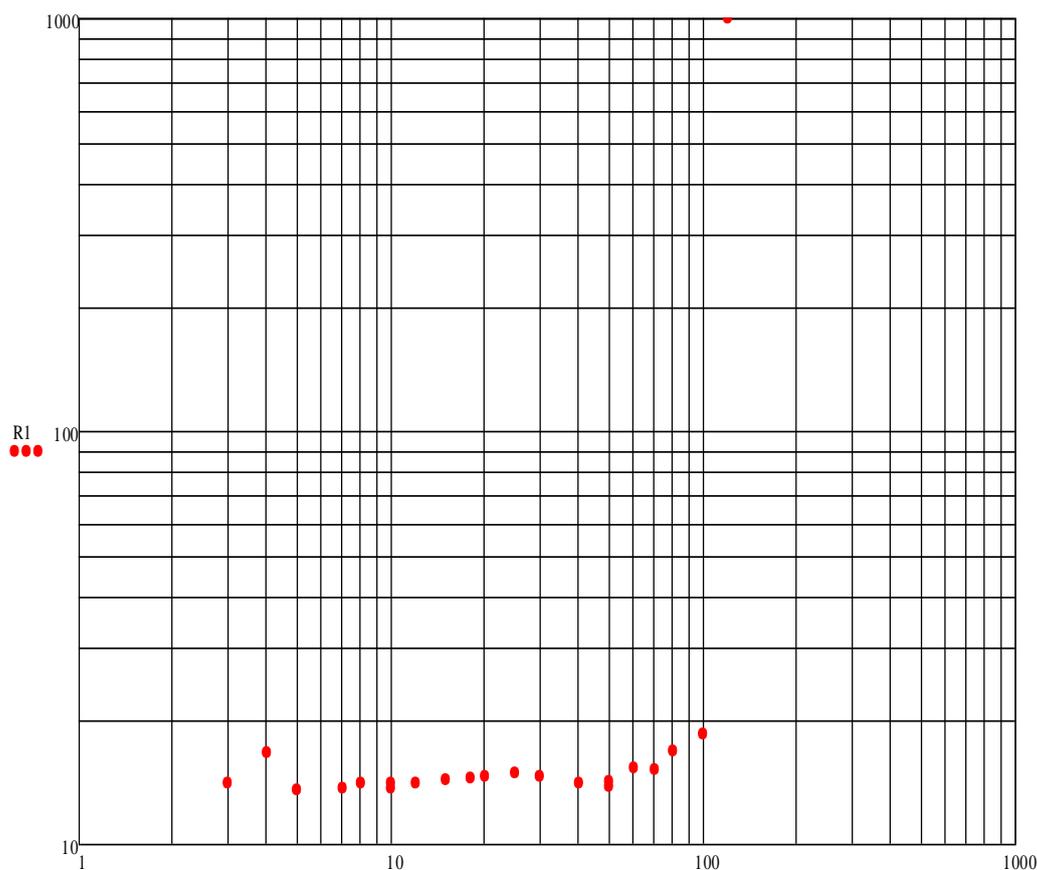
AB :=

	0
0	3
1	4
2	5
3	7
4	8
5	10
6	10
7	12
8	15
9	18
10	20
11	25
12	30
13	40
14	50
15	50
16	60
17	70
18	80
19	100
20	120
21	...

R2 :=

	0
0	12.35
1	12.44
2	12.54
3	12.37
4	12.63
5	12.75
6	14.29
7	14.93
8	13.99
9	14.28
10	14.61
11	15.14
12	16.37
13	15.41
14	15.97
15	20.48
16	21.09
17	21.52
18	22.91
19	25.03
20	999
21	

Representación gráfica SEV 03



AB :=

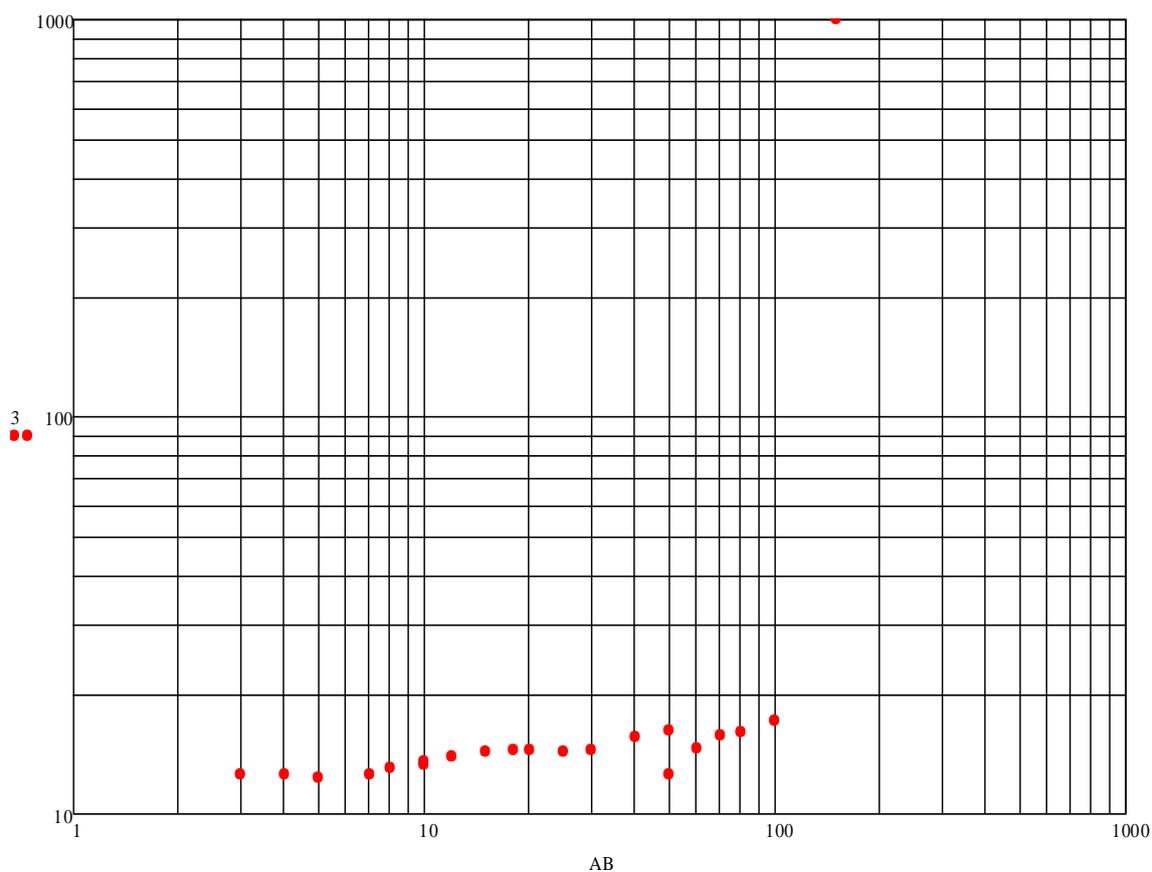
	0
0	3
1	4
2	5
3	7
4	8
5	10
6	10
7	12
8	15
9	18
10	20
11	25
12	30
13	40
14	50
15	50
16	60
17	70
18	80
19	100
20	120
21	...

AB

R1 :=

	0
0	14.08
1	16.61
2	13.57
3	13.71
4	14
5	13.61
6	14
7	14.07
8	14.26
9	14.39
10	14.6
11	14.91
12	14.57
13	14.07
14	14.23
15	13.78
16	15.34
17	15.18
18	16.74
19	18.51
20	999
21	

Representación gráfica SEV 04



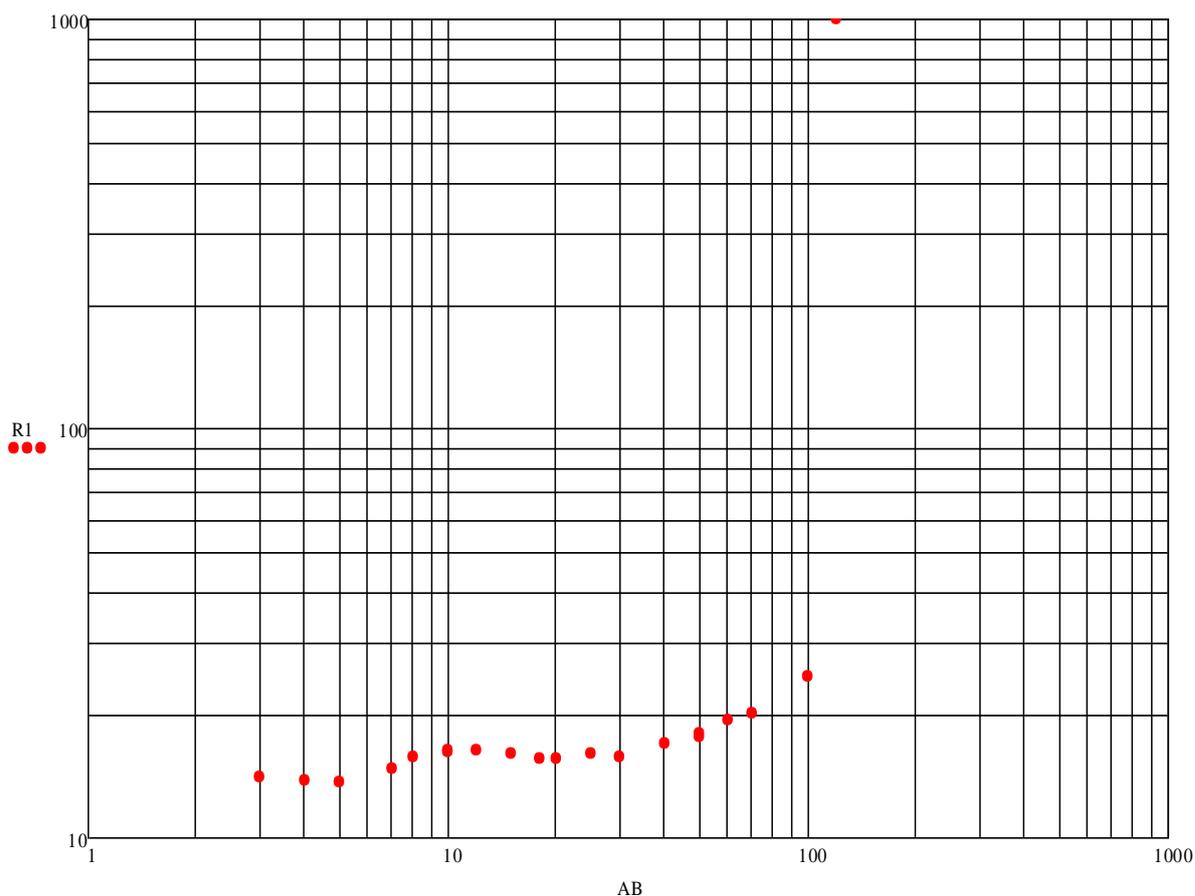
AB :=

	0
0	3
1	4
2	5
3	7
4	8
5	10
6	10
7	12
8	15
9	18
10	20
11	25
12	30
13	40
14	50
15	50
16	60
17	70
18	80
19	100
20	120
21	140
22	150
23	...

R3 :=

	0
0	12.6
1	12.59
2	12.27
3	12.57
4	13.05
5	13.49
6	13.32
7	13.94
8	14.35
9	14.44
10	14.48
11	14.38
12	14.5
13	15.59
14	16.22
15	12.57
16	14.64
17	15.68
18	16.09
19	17.06
20	0
21	0
22	999
23	

Representación gráfica SEV 05



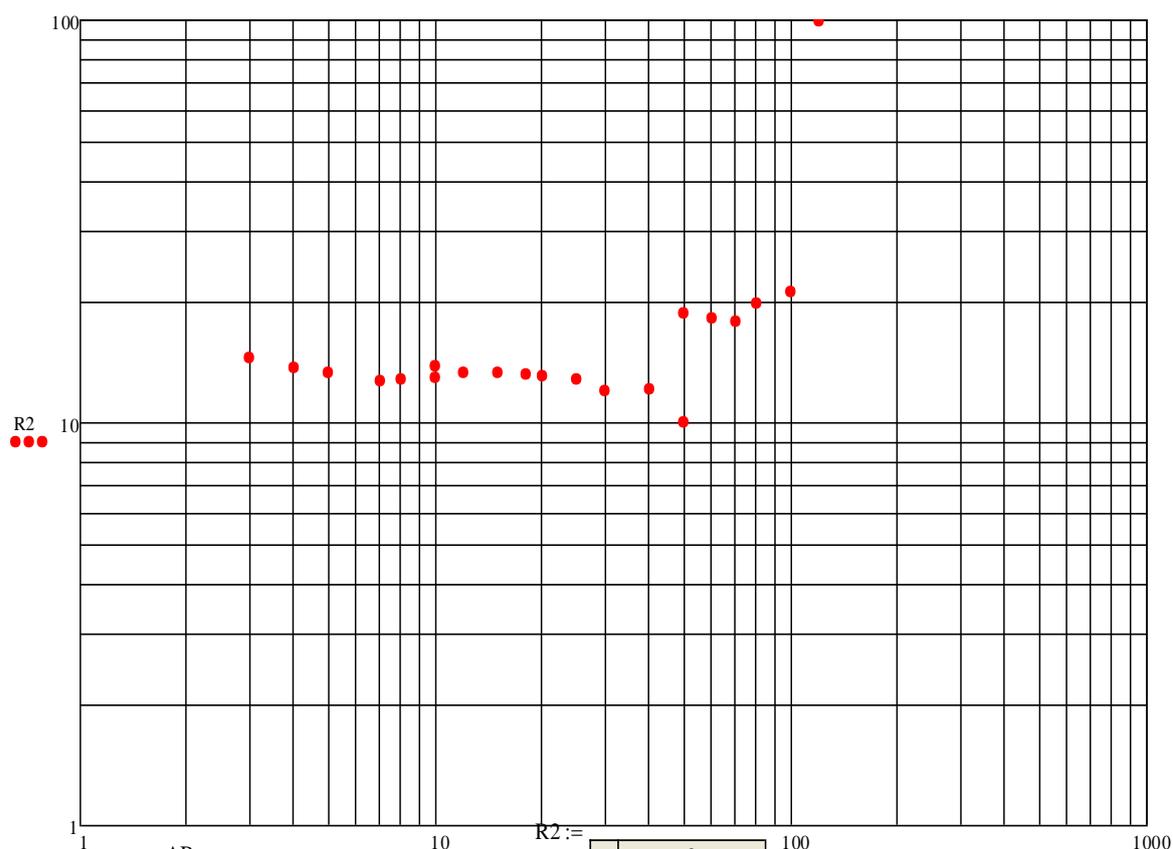
AB :=

	0
0	3
1	4
2	5
3	7
4	8
5	10
6	10
7	12
8	15
9	18
10	20
11	25
12	30
13	40
14	50
15	50
16	60
17	70
18	80
19	100
20	120
21	...

R1 :=

	0
0	14.03
1	13.78
2	13.61
3	14.78
4	15.74
5	16.19
6	16.41
7	16.33
8	16.07
9	15.62
10	15.59
11	16.09
12	15.72
13	16.97
14	17.96
15	17.66
16	19.34
17	20.15
18	"#DIV/0!"
19	24.75
20	999
21	

Representación gráfica SEV 06



AB :=

	0
0	3
1	4
2	5
3	7
4	8
5	10
6	10
7	12
8	15
9	18
10	20
11	25
12	30
13	40
14	50
15	50
16	60
17	70
18	80
19	100
20	120
21	...

R2 :=

	0
0	14.39
1	13.62
2	13.22
3	12.69
4	12.8
5	12.96
6	13.78
7	13.32
8	13.26
9	13.11
10	12.99
11	12.82
12	11.97
13	12.06
14	9.96
15	18.57
16	18.11
17	17.7
18	19.79
19	21.09
20	99
21	

ANEXO III: Columnas hidrogeológicas

Lamina N° 01: Columna geológica SEV 01

V.G.	H.G. Mts.	E.C. Mts.	Columna Geoeléctrica	CARACTERÍSTICAS LITO ESTRATIGRÁFICAS	POROSIDAD / PERMEABILIDAD ESTIMADO
37	1,40	1,40		(C1) Capa superficial, compuesto materia Orgánica y arcilla con limos con NF 1.4 m saturados de agua de filtración de agua de lluvia.	Granular fina / media baja
93	10,20	8,80		(C2) Capa subyacente conformado de gravas, gravillas, arenas interpretado como acuífero de tipo libre.	Granular gruesa / alta media
62	43,00	32,80		(C3) Capa compuesto de gravillas en matriz de arenas, interpretado como acuífero de tipo libre.	Granular media / alta media
38	81,90	38,90		(C4) Horizonte compuesto de estratificaciones de capas de arenas con lentes de limos, interpretado como acuícludo.	Granular Fina / media baja
35	> 150 m.			(C5) Horizonte conformado de lutitas y arcillitas.	Fina semi compacta / Muy baja

LEYENDA	
V.G.	: Valor Georesistivo en Ohmios-metro
H.G.	: Horizonte Geoeléctrico en metros
E.C.	: Espesor de la Capa en metros
SEV	: Sondaje Eléctrico Vertical
C1...C4:	Capas Lito Estratigráficas o Geoestructurales

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO			
PROSPECCION GEOFISICA A TRAVES DEL SONDAJE ELECTRICO VERTICAL			
EN LA COMUNIDAD DE ANCASAYA			
COOR. N: 8220410.00	Escala: Grafica	EJECCUTOR: H. A. M.	
COOR. S: 43398.00	Fecha: OCT. 2013	SEV 01	Lamina 01

Columna N° 02: Columna geológica SEV - 02

V.G.	H.G. Mts.	E.C. Mts.	Columna Geoeléctrica	CARACTERÍSTICAS LITO ESTRATIGRÁFICAS	POROSIDAD / PERMEABILIDAD ESTIMADO
59	0,80	0,80		(C1) Capa superficial, materia orgánica, gravilla, arenas y limos.	Fina semi Plástica / baja
148	8,70	7,90		(C2) Capa subyacente conformado de gravas, gravillas, arenas nivel estático en 2.32 metros de profundidad, interpretado como acuífero tipo libre.	Granular gruesa / alta media
34	33,90	25,20		(C3) Capa compuesto de estratificaciones de capas de arenas con interfaces pequeñas de limos, interpretado como acuicludo.	Granular Fina / media baja
98	74,1	40,2		(C4) Horizonte compuesto de rocas calcáreas, intercalados con facies de limos arcillitas, interpretado como acuitardo, permeable a Través de fracturas, grietas.	Fisural fina / media baja
52	> 100 m.			(C5) Horizonte compuesto de lutitas compactados con estratos calcáreos fracturados.	Fina y fisural / media baja

LEYENDA	
H.G.	: Horizonte Geoeléctrico en metros.
C.	: Espesor de la Capa en metros
SEV	: Sondaje Eléctrico Vertical
C1...C4:	Capas Lito Estratigráficas o Geoestructurales

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO			
PROSPECCION GEOFISICA A TRAVES DEL SONDAJE EEELECTRICO VERTICAL EN LA COMUNIDAD DE ANCASAYA			
COORD. N: 8220499.00	Escala: Grafica	EJECCUTOR: H. A. M.	
COORD. S: 433962.00	Fecha: OCT. 2013	SEV 02	Lamina 02

Columna N° 03: Columna geología SEV - 03

V.G.	H.G. Mts.	E.C. Mts.	Columna Geoeléctrica	CARACTERÍSTICAS LITO ESTRATIGRÁFICAS	POROSIDAD / PERMEABILIDAD ESTIMADO
15	0,80	0,80		(C1) Capa superficial compuesto de materia orgánica arcillas y limos c/hum.	Fina semi Plástica / baja
37	4,70	3,90		(C2) Capas intercalados de arenas con limos, nivel estático en 1.50 metros, interpretado como acuicludo de tipo libre.	Granular fina / media
32	15,90	11,20		(C3) Intercalaciones de arenas con lentes de limos, saturados de agua subterránea, interpretado como acuicludo de tipo libre.	Granular fina / media
36	58,10	42,20		(C4) Intercalaciones de arenas con lentes de limos, saturados de agua subterránea, interpretado como acuicludo de tipo libre.	Granular fina / media
117	> 100 m.			(C5) Horizonte compuesto de rocas calcáreas masivas y probablemente fisurados y fracturados, identificado como acuitardo.	Muy compacta fisural / Muy baja

LEYENDA	
H.G.	: Horizonte Geoeléctrico en metros
E.C.	: Espesor de la Capa en metros
SEV	: Sondaje Eléctrico Vertical
C1...C4:	Capas Lito Estratigráficas ó Geoestructurales

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO			
PROSPECCION GEOFISICA A TRAVES DEL SONDAJE ELECTRICO VERTICAL			
EN LA COMUNIDAD DE ANCASAYA			
COOR. N: 8220586.00	Escala: Grafica	EJECCUTOR: H. A. M.	
COOR. S: 434002.00	Fecha: OCT. 2013	SEV 03	Lamina 03

Columna Nº 04: Columna geológica SEV - 04

V.G.	H.G. Mts.	E.C. Mts.	Columna Geoeléctrica	CARACTERÍSTICAS LITO ESTRATIGRÁFICAS	POROSIDAD / PERMEABILIDAD ESTIMADO
86	0,70	0,70		(C1) Capa superficial compuesta de materia orgánica, subyace gravillas, arenas y limos, saturados de agua, nivel estático en 0.80 metros.	Granular gruesa media / alta
60	4,90	4,20		(C2, C3, C4) Capas conformados de arenas, gravas y limos, saturados de agua, interpretado como acuífero.	Granular gruesa media / alta
99	29,00	24,10			
68	73,40	44,40			
24	> 100 m.			(C5) Capa de depósitos de arcillas limosas, saturados de agua.	Fina semi plástica / muy baja

LEYENDA	
G.	: Horizonte Geoeléctrico en metros
E.C.	: Espesor de la Capa en metros
SEV	: Sondaje Eléctrico Vertical
C1...C4:	Capas Lito Estratigráficas o Geoestructurales

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO			
PROSPECCION GEOFISICA A TRAVES DEL SONDAJE ELECTRICO VERTICAL EN LA COMUNIDAD DE ANCASAYA			
COOR. N: 8220590.00	Escala: Grafica	EJECCUTOR: H. A. M.	
COOR. S: 433703.00	Fecha: OCT. 2013	SEV 04	Lamina: 04

Columna Nº 05: Columna geológica SEV-05

V.G.	H.G. Mts.	E.C. Mts.	Columna Geoeléctrica	CARACTERÍSTICAS LITO ESTRATIGRÁFICAS	POROSIDAD / PERMEABILIDAD ESTIMADO
246	0,80	0,80		(C1, C2) Capa superficial compuesto de materia orgánica compuesta de gravillas, arenas y limos, nivel estático en 2.50 metros de profundidad.	Granular fina / media
373	6,40	5,60		(C3) Horizonte conformado de gravas, gravillas en matriz arenas y limos, interpretado como acuífero de tipo libre.	Granular gruesa / alta media
65	59,10	52,70		(C 4) Intercalaciones de arenas con lentes de limos, saturados de agua subterránea, interpretado como acuícludo.	Granular fina / media
34	> 100 m.				

LEYENDA	
H.G.	: Horizonte Geoeléctrico en metros
E.C.	: Espesor de la Capa en metros
SEV	: Sondaje Eléctrico Vertical.
C1...C4:	Capas Lito Estratigráficas ó Geoestructurales

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO			
PROSPECCION GEOFISICA A TRAVES DEL SONDAJE ELECCTRICO VERTICAL			
EN LA COMUNIDAD DE ANCASAYA			
COOR. N: 8220647.00	Escala: Grafica	EJECCUTOR: H. A. M.	
COOR. S: 433782.00	Fecha: OCT. 2013	SEV 06	Lamina: 05

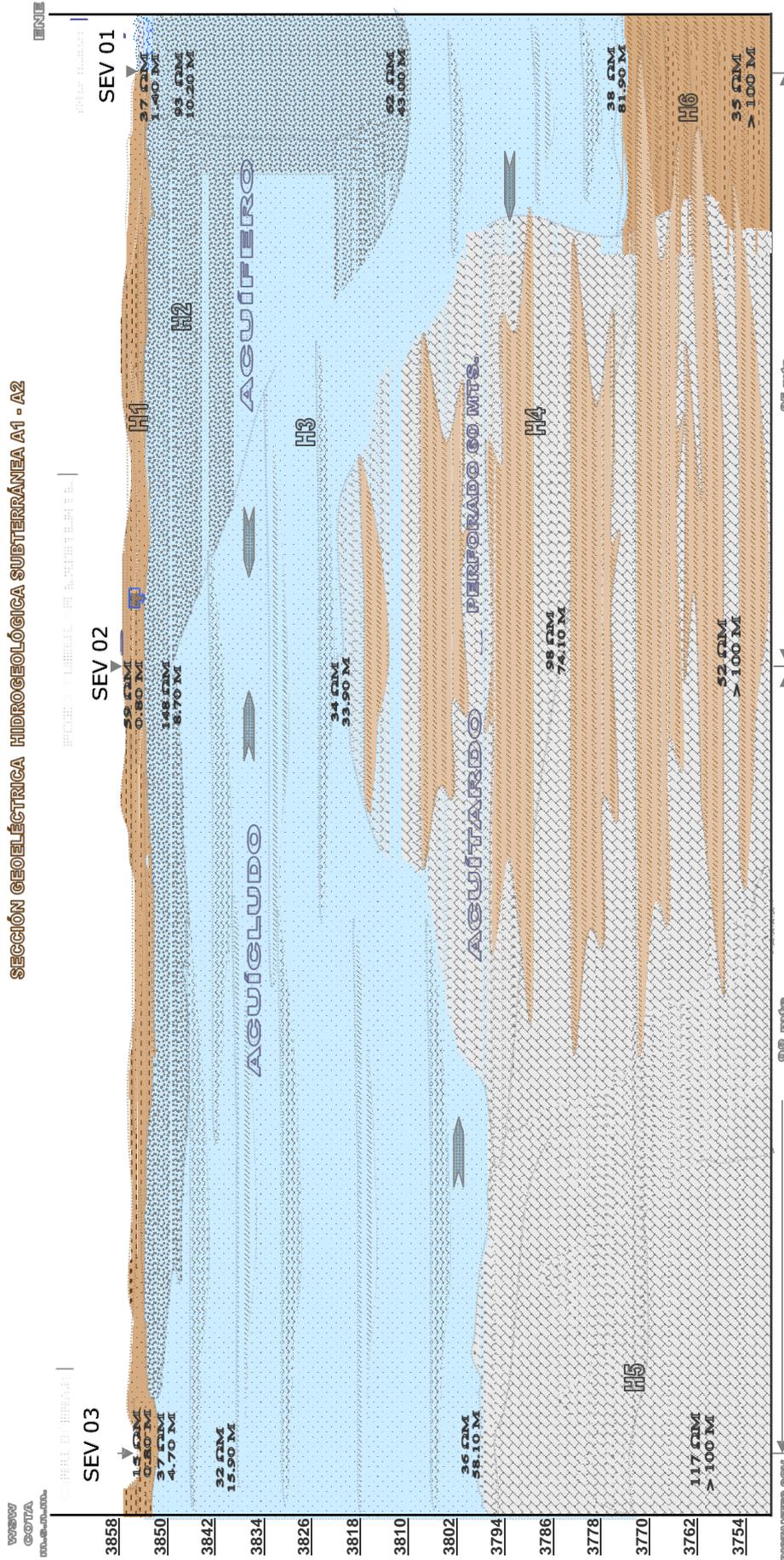
Columna N° 06: Columna geológica SEV - 06

V.G.	H.G. Mts.	E.C. Mts.	Columna Geoelectrica	CARACTERÍSTICAS LITO ESTRATIGRÁFICAS	POROSIDAD / PERMEABILIDAD ESTIMADO
71	1,20	1,20		(C1) Capa superficial compuesto de materia orgánica. Arenas, gravillas En matriz Limoso, nivel estático en 1.50 metros de profundidad.	Granular fina media / Media.
63	6,10	4,90		(C2) Horizonte conformado de gravas, gravillas en matriz arenas y limos, interpretado como acuífero de tipo libre.	Granular gruesa / alta media
30	24,60	18,50		(C3, C 4) Intercalaciones de arenas con lentes de limos, saturados de agua subterránea, interpretado como acuífudo de tipo libre.	Granular fina / media
32	71,30	46,70		(C5) Horizonte compuesto de rocas calcáreas, intercalados con facies de limos arcillitas, interpretado como acuitardo, permeable a través de fracturas, grietas.	Fisural fina / media baja
67	>100 m.				

LEYENDA	
H.G.	: Horizonte Geoelectrico en metros
E.C.	: Espesor de la Capa en metros
SEV	: Sondaje Eléctrico Vertical
C1...C4:	Capas Lito Estratigráficas o Geoestructurales

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO			
PROSPECCION GEOFISICA A TRAVES DEL SONDAJE ELECTRICO VERTICAL			
EN LA COMUNIDAD DE ANCASAYA			
COORD. N: 8220705.00	Escala: Grafica	EJECCUTOR: H. A. M.	
COORD. S: 433856.00	Fecha: OCT. 2013	SEV 06	Lamina: 06

ANEXO IV: Secciones geológicas

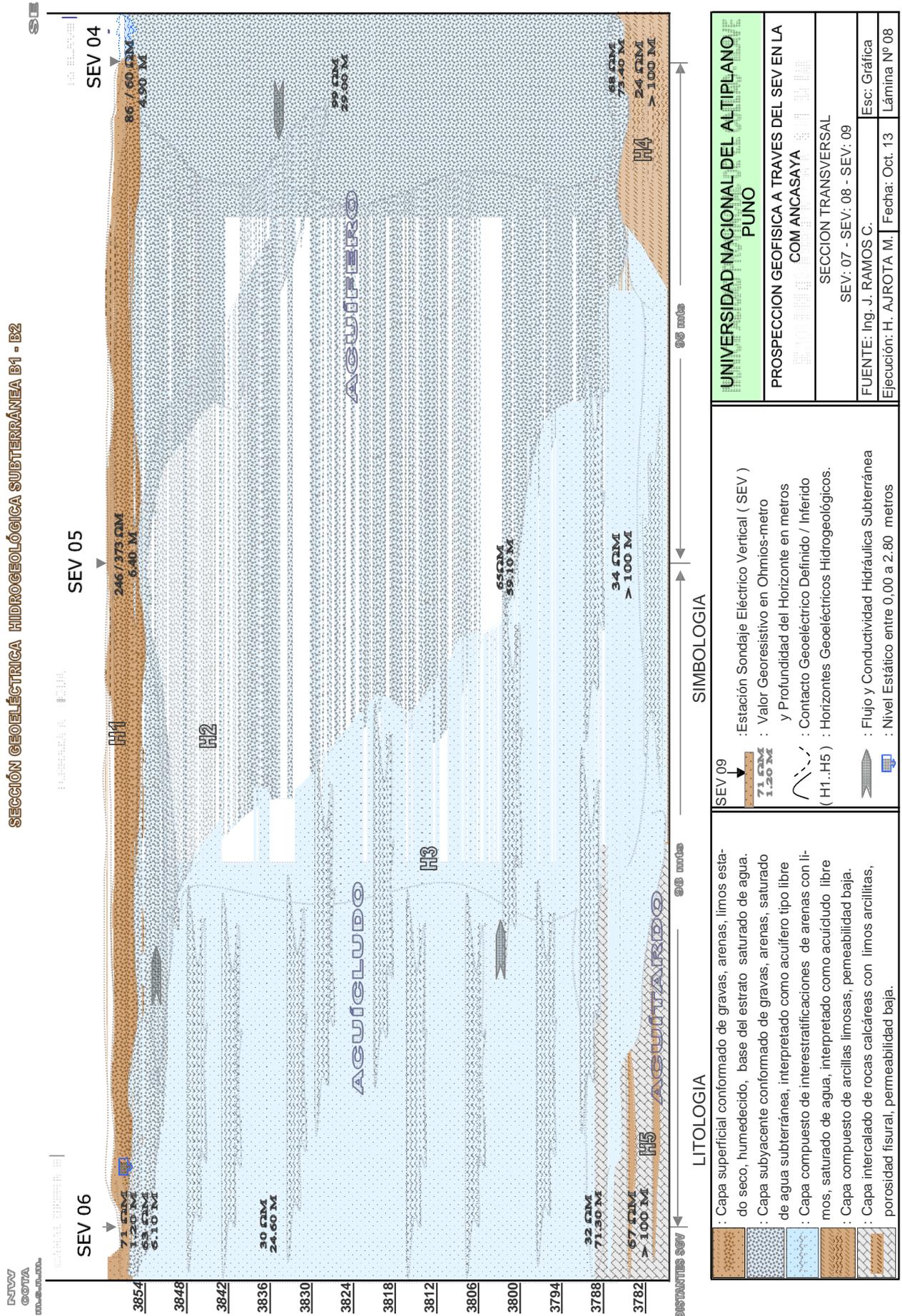


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO	
PROSPECCION GEOFISICA A TRAVES DEL SEV EN LA COM ANCASAYA	
SECCION TRANSVERSAL	
SEV: 01 - SEV: 02 - SEV: 03	
FUENTE:	Ing. J. RAMOS C.
Ejecución:	H. AJROTA M. Fecha: Oct. 13 Lámina Nº 07

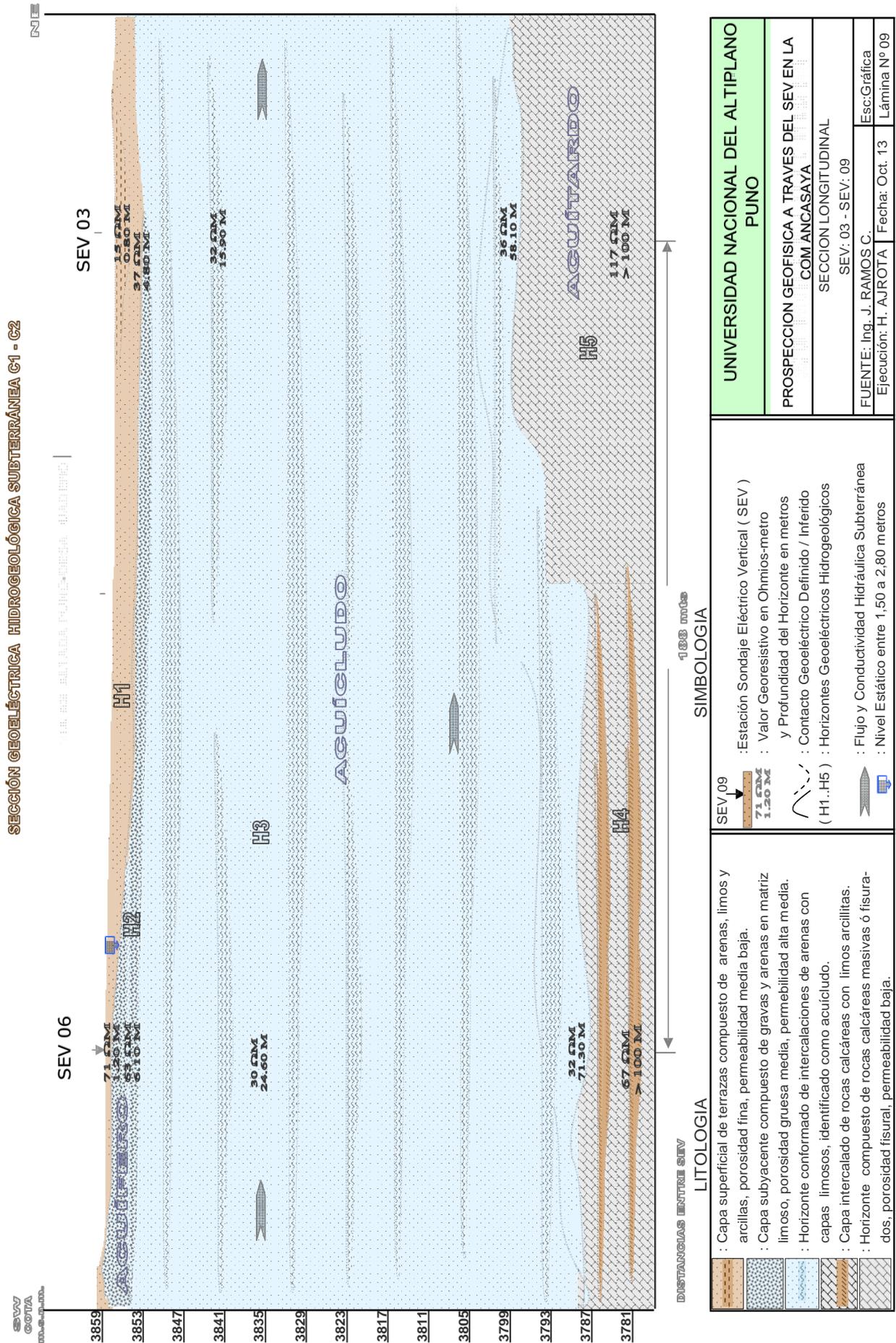
SEV 01	: Estación Sondaje Eléctrico Vertical (SEV)
37 C/M 1.40 M	: Valor Georesistivo en Ohmios-metro y Profundidad del Horizonte en metros
(H1..H6)	: Contacto Geoelectrico Definido / Inferido
H1..H6	: Horizontes Geoelectricos Hidrogeológicos.
Flujo	: Flujo y Conductividad Hidráulica Subterránea
Nivel Estático	: Nivel Estático entre 0,00 a 2.50 metros

LITOLOGIA	: Capa superficial gravas, arenas, limos húmedo y saturado.
	: Capa subyacente conformado de gravas, arenas, saturado de agua subterránea, interpretado como acuífero tipo libre
	: Capa compuesto de interstratificaciones de arenas con limos, saturado de agua, interpretado como acuífudo libre
	: Capa intercalado de rocas calcáreas con limos arcillitas.
	: Horizonte conformado de rocas calcáreas masivas ó fracturados, permeabilidad media, porosidad fisural.
	: Capa de lutitas y arcillitas de porosidad semi compactados.

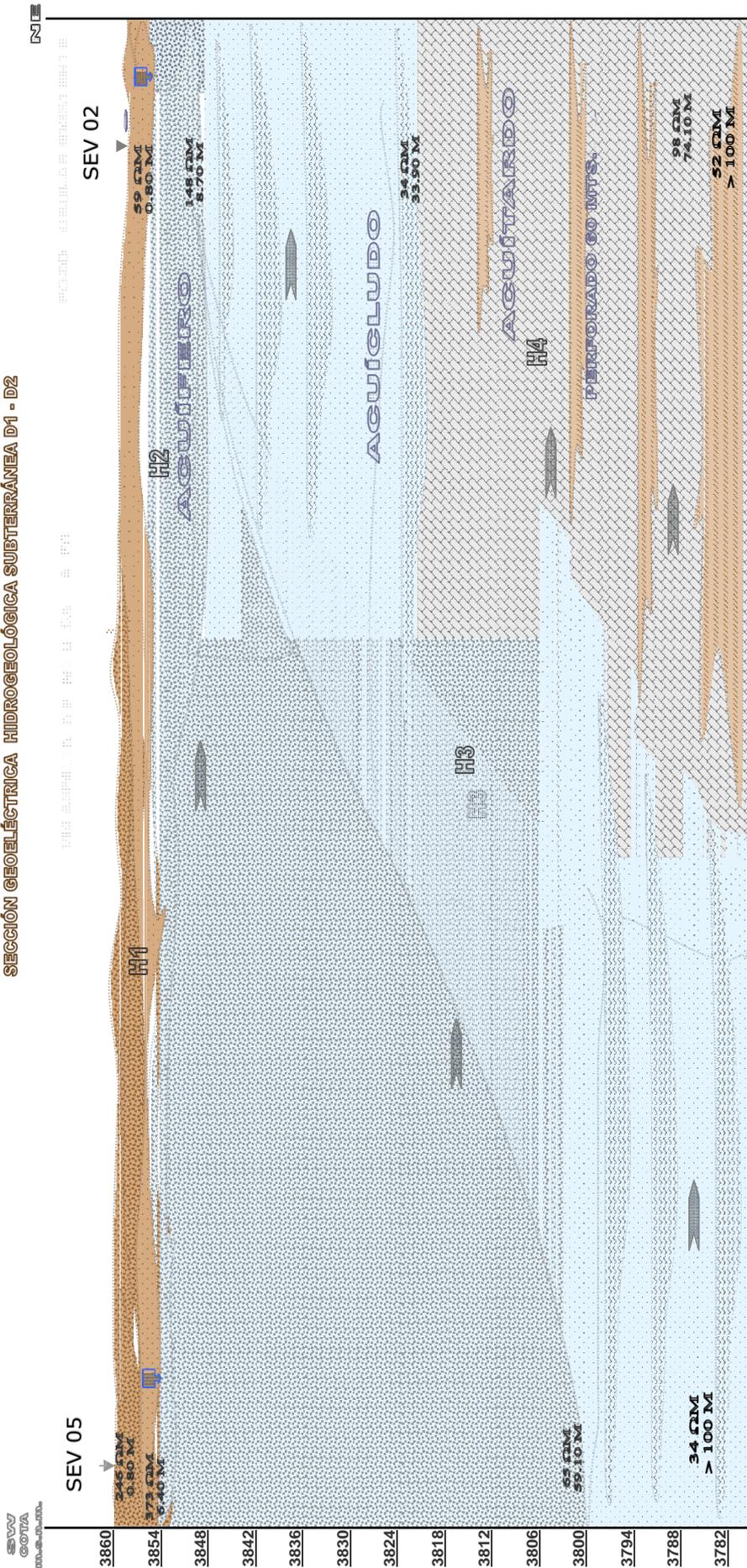
SIMBOLOGIA	
-------------------	--





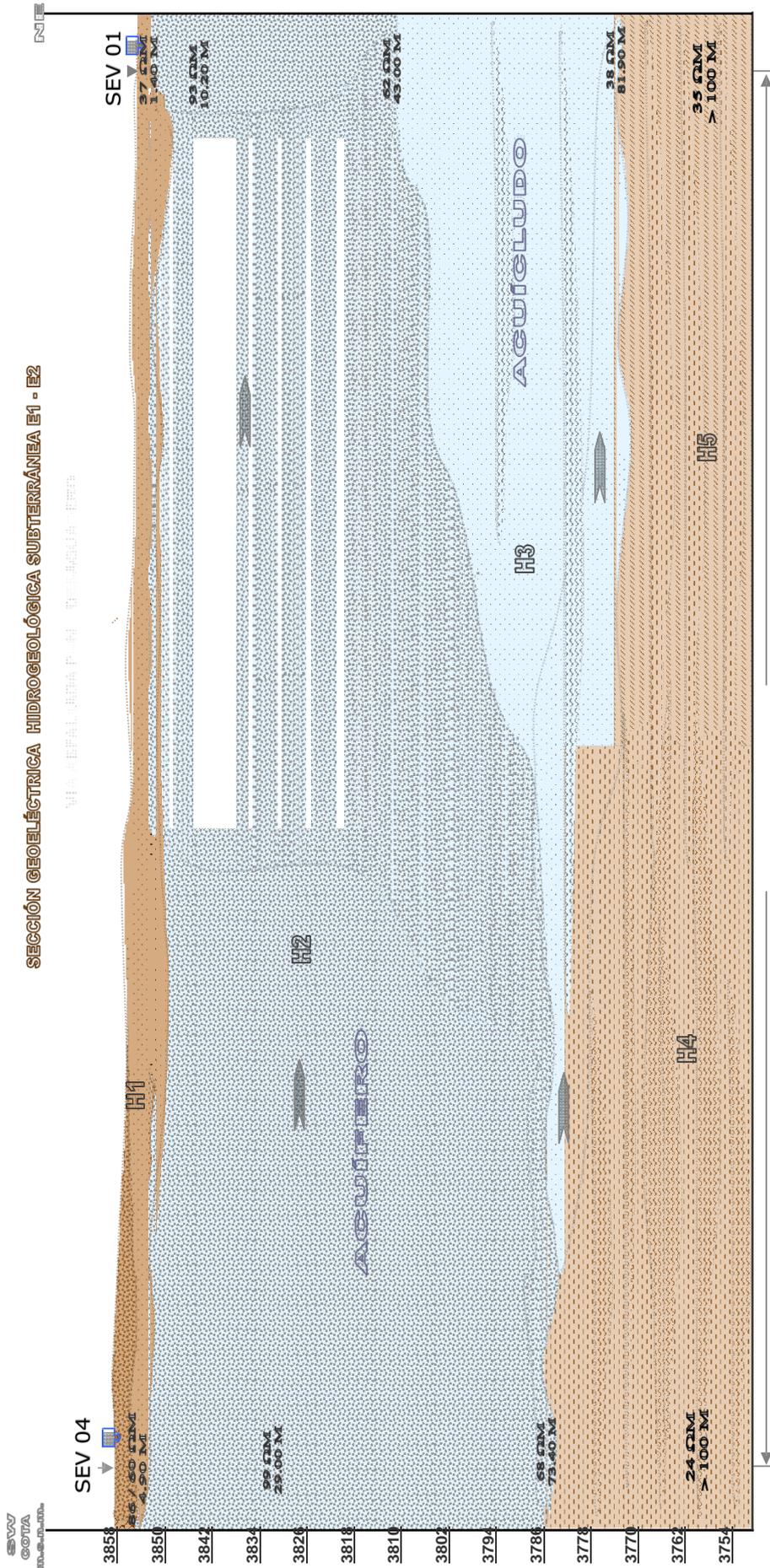


SECCIÓN GEOELÉCTRICA HIDROGEOLOGICA SUBTERRÁNEA D1 - D2



238 mts
SIMBOLOGIA

<p>LITOLOGIA</p> <ul style="list-style-type: none"> : Capa superficial de terrazas compuesto de arenas, limos y capas de gravas, porosidad granular, permeabilidad alta. : Capa subyacente compuesto de gravas y arenas en matriz limoso, porosidad gruesa media, permeabilidad alta media. : Horizonte conformado de intercalaciones de arenas con capas gravillas y limos, identificado como acuícludo. : Capa intercalado de rocas calcáreas fracturados con limos y arcillitas. 		<p>SIMBOLOGIA</p> <p>SEV 02 59 ΩM 0.80 M</p> <ul style="list-style-type: none"> : Estación Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) : Valor Geoesistivo en Ohmios-metro y Profundidad del Horizonte en metros (H1.. H5): Horizontes Geoelectrónicos Definido / Inferido : Flujo y Conductividad Hidráulica Subterránea : Nivel Estático entre 2,50 a 2,80 metros 	
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO</p>			
<p>PROSPECCION GEOFISICA A TRAVES DEL SEV EN LA COM ANCASAYA</p>			
<p>SECCION LONGITUDINAL SEV: 02 - SEV: 08</p>			
<p>FUENTE: Ing. J. RAMOS C.</p>		<p>Esc: Gráfica</p>	
<p>EJECUCION H. AJROTA M</p>		<p>FECHA: Uct. 13</p>	
		<p>LAMINA: 10</p>	



<p>LITOLOGIA</p> <ul style="list-style-type: none"> : Capa superficial de terrazas compuesto de arenas, limos y capas de gravas, porosidad granular, permeabilidad alta. : Capa subyacente compuesto de gravas y arenas en matriz limoso, permeabilidad alta media, interpretado como acuífero. : Horizonte conformado de intercalaciones de arenas con capas de limos, identificado como acuícludo. : Capa conformado de arcillas limosas, permeabilidad baja. : Capa compuesto de lutitas y arcillitas, porosidad semi com- 		<p>SIMBIOLOGIA</p> <p>SGV.01 37.5 CM 1.40 M</p> <ul style="list-style-type: none"> : Estación Sondaje Geoelectrico Vertical (SGV) : Valor Georesistivo en Ohmios-metro y Profundidad del Horizonte en metros : Contacto Geoelectrico Definido / Inferido (H1..H5) : Horizontes Geoelectricos Hidrogeológicos : Flujo y Conductividad Hidráulica Subterránea : Nivel Estático entre 0,00 a 0,50 metros 	
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO</p> <p>PROSPECCION GEOFISICA A TRAVES DEL SEV EN LA COM ANCASAYA</p> <p>SECCION LONGITUDINAL SEV: 01 - SEV: 07</p> <p>FUENTE: Ing. J.RAMOS. C. Escala: Gráfica</p> <p>EJECUTOR: H.A. IROTA M FECHA: Oct. 13 LAMINA 11</p>			

ANEXO V: Panel fotográfico



FOTO N° 01: Reconocimiento de area de terreno con goefisico



FOTO N° 02: instalación de georesistivimetro con geofísico



FOTO N° 03: Instrucciones por parte del geofísico indicando los trabajos a realizar



FOTO N° 04: Tendido de cable por parte del geofísico indicando la forma de manipular el cable durante el proceso de trabajo



FOTO N° 05: Tendido de soga graduada el mismo da el inicio para los punto A-B, M-N



FOTO N° 06: Se aprecia el inicio de trabajos del sondaje eléctrico vertical con un Georesistivímetro

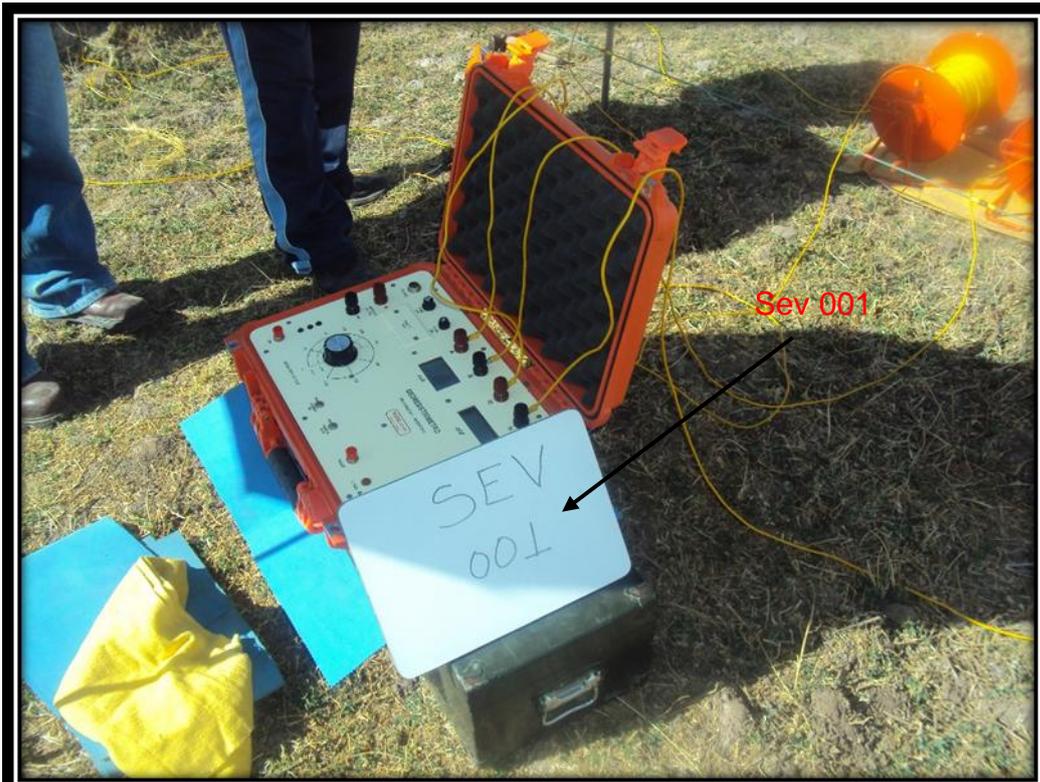


FOTO N° 07: Inicio de trabajos para el SEV 001 mostrando a través de un cartel de identificación



FOTO N° 06: Se aprecia el registro de los datos del campo como son la I y la ΔV

ANEXO VI: Planos

