



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**RELACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CON LA
RESISTIVIDAD APARENTE DE LOS SUELOS MEDIANTE SONDAJES
ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA CUENCA DEL RÍO ZAPATILLA**

PRESENTADA POR:

AUDBERTO MILLONES CHAFLOQUE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE

TESIS

**RELACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CON LA
RESISTIVIDAD APARENTE DE LOS SUELOS MEDIANTE SONDAJES
ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA CUENCA DEL RÍO ZAPATILLA**

PRESENTADA POR

AUDBERTO MILLONES CHAFLOQUE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



APROBADO POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

DR. DANTE JONI CHOQUEHUANCA PANCLAS

PRIMER MIEMBRO

DRA. SOFÍA LOURDES BENAVENTE FERNÁNDEZ

SEGUNDO MIEMBRO

DR. JAVIER MAMANI PAREDES

ASESOR DE TESIS

DR. GERMAN BELIZARIO QUISPE

Puno, 30 de noviembre del 2022

AREA: Ciencias de la Ingeniería

TEMA: Las aguas subterráneas y la resistividad aparente de los suelos mediante sondajes eléctricos en la cuenca del río Zapatilla.

LINEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente



DEDICATORIA

Por estar siempre acompañándome, guiándome, protegiéndome, a Dios todo poderoso, a mis padres que me dieron el ser, sacrificándose para ser lo que soy ahora, dotando de la herramienta principal para protegerme en este mundo: La profesión de Ingeniero Agrícola

A mi amada esposa Norma Rodríguez, por el esmero, esfuerzo y sacrificios conjuntamente con mis queridos hijos Raúl Carlos Eduardo y Darly Bertha Isabel, que fueron, son y serán mi inspiración para seguir desarrollándome profesionalmente.

A mis hermanos Marcial, Yolanda, Agustín y Manuel, quienes con sus consejos me inspiraron siempre a seguir adelante.

Con mucha nostalgia y grandes recuerdos, a mis padres Agustín y Teodora, a quienes les debo lo que soy, Dios los tenga en su gloria; a mis hermanos Petronila, Bertha y José del Carmen, que partieron de este mundo, pero que motivaron a seguir avanzando.



AGRADECIMIENTOS

A Puno, tierra bendita de luz, pensamiento y libertad, por acogerme para desarrollarme profesionalmente.

Al programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano.

A los miembros del jurado, por su gran contribución en la mejora de la presentación de la investigación realizada a través de sus sugerencias y contribuciones:

Dr. Dante Joni Choquehuanca Panclas

Dra. Sofía Lourdes Benavente Fernández

Dr. Javier Mamani Paredes

Al director de mi tesis, Dr. Germán Belizario Quispe, por su dedicación y contribución en el desarrollo de la presente investigación.

Al Ing. Julián Ramos Contreras, por su contribución en suministrar datos y experiencias de diversas investigaciones efectuadas a lo largo de muchos años de trabajo conjunto en la práctica cotidiana.



ÍNDICE GENERAL

	Pág
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
REVISIÓN DE LITERATURA	
1.1 Marco teórico	4
1.1.1 Aguas subterráneas y acuíferos	4
1.1.2 Métodos de prospección: métodos geofísicos	8
1.1.3 Sondajes electrónicos verticales y resistividad de los suelos	15
1.1.4 Sobre hidrogeoquímica	22
1.2 Antecedentes	26
1.2.1 A nivel mundial	26
1.2.2 A nivel nacional	31
1.2.3 A nivel Local	33
CAPÍTULO II	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
2.1 Identificación del problema	35
2.2 Enunciados del problema	37
2.2.1 Problema general	37
2.2.2 Problemas específicos	37
2.3 Justificación	37
2.4 Objetivos	38
2.4.1 Objetivo general	38
2.4.2 Objetivos específicos	38
2.5 Hipótesis	39
	iii



2.5.1 Hipótesis general	39
2.5.2 Hipótesis específicas	39
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Lugar de estudio	40
3.1.1 Ubicación política	40
3.1.2 Ubicación hidrográfica	42
3.1.3 Ubicación hidrogeológica	44
3.2 Población	46
3.3 Muestra	46
3.4 Método de investigación	46
3.5 Descripción de metodología por objetivos específicos	47
3.5.1 Relación entre el tipo de suelo con los valores de resistividad aparente.	47
3.5.1.1 Caracterización geológica y geomorfológica: Geología local	47
3.5.1.2 Prospección Geofísica	47
3.5.1.3 Fundamentos de la prospección geofísica	48
3.5.1.4 Procedimiento del levantamiento	49
3.5.1.5 Ubicación de los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs)	50
3.5.1.6 Tratamiento cuantitativo e interpretación de resultados.	51
3.5.1.7 Representación de los datos interpretados	52
3.5.2 Relación entre los valores de la resistividad aparente de los suelos con los valores de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos	52
3.5.2.1 Perforación de pozos exploratorios	52
3.5.2.2 Caracterización hidrogeoquímica	53
3.5.2.3 Análisis efectuados	54
3.5.2.4 Diagrama de Piper	55
3.5.2.5. Diagrama de Durov	56
3.5.2.6 Tratamiento de los resultados de análisis físicoquímicos	57
3.5.2.7 Análisis de datos	58
3.5.2.8 El análisis de componentes principales (PCA), en la primera pregunta científica	61
3.5.2.9 Análisis de componentes principales (PCA), a la calidad de aguas superficiales (a nivel regional y global)	62

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Relación entre el tipo de suelo con los valores de resistividad aparente	65
4.1.1 Tipos de suelos o formaciones geológicas en el lugar de estudio	65
4.1.2 Valores determinados de resistividad aparente y espesor de estratos	67
4.1.3 Representación de datos interpretados	67
4.1.3.1 Sector Sancuta	67
4.1.3.2 Sector Quety	73
4.1.3.3 Sector Alfonso Ugarte	81
4.1.4 Relación de los suelos con valores de resistividad aparente	88
4.1.5 Descripción detallada de la distribución de los estratos en las columnas estratigráficas	90
4.1.5.1 Columna estratigráfica del SEV 01 Sancuta	91
4.1.5.2 Columna estratigráfica del SEV 02 Sancuta	91
4.1.5.3 Columna estratigráfica del SEV 03 Sancuta	92
4.1.5.4 Columna estratigráfica del SEV 04 Quety	93
4.1.5.5 Columna estratigráfica del SEV 05 Quety	94
4.1.5.6 Columna estratigráfica del SEV 06 Quety	95
4.1.5.7 Columna estratigráfica del SEV 07 Quety	96
4.1.5.8 Columna estratigráfica del SEV 08 Alfonso Ugarte	97
4.1.5.9 Columna estratigráfica del SEV 09 Alfonso Ugarte	98
4.1.5.10 Columna estratigráfica del SEV 10 Alfonso Ugarte	99
4.2 Relación entre la calidad de las aguas subterráneas con los valores de resistividad aparente	100
4.2.1 Interpretación de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas subterráneas extraídas de pozos exploratorios	100
4.2.2 Tratamiento de datos: valores físicos químicos	115
4.2.3 Comparación de los valores fisicoquímicos y bacteriológicos de aguas subterráneas extraídas en los pozos exploratorios según sectores	133
4.2.4 Relación de la calidad de las aguas subterráneas y el tipo de suelos de la zona de estudio según valores de resistividad aparente.	138
4.2.4.1 Sección Sector Sancuta	139
4.2.4.2 Sección Sector Quety	140



4.2.4.3 Sección Sector Alfonso Ugarte	141
4.2.4.4 Sección General	142
CONCLUSIONES	146
RECOMENDACIONES	147
BIBLIOGRAFÍA	148
ANEXOS	157

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Métodos de prospección geofísicas más usadas en la exploración del suelo o formación geológica	10
2. Resistividades aparentes según tipo de suelos o formaciones geológicas	13
3. Resistividades aparentes en varios suelos o formaciones geológicas	14
4. Resistividad aparente en suelos o formaciones geológicas	15
5. Valores típicos de resistividad aparente de materiales geológicos	21
6. Aguas superficiales y subterráneas aprovechables disponibles en el Perú	33
7. Ubicación del lugar de estudio	40
8. Ubicación UTM de los sondajes eléctricos verticales	51
9. Ubicación de los pozos exploratorios en el área investigada	54
10. Análisis comparativo tipo de suelos y valores de resistividad aparente en los SEVs del 1 al 5: Sector Sancuta y Chaullacamani.	88
11. Análisis comparativo tipo de suelos y los valores de resistividad aparente determinados en los SEVs del 6 al 10, sectores Quety y Alfonso Ugarte	89
12. Interpretación de resultados del análisis físico químico y bacteriológico del pozo exploratorio 1 en el sector Sancuta	101
13. Interpretación de resultados del análisis físico químico y bacteriológico del pozo exploratorio 2 en el sector Sancuta	103
14. Interpretación de resultados del análisis físico químico y bacteriológico del pozo exploratorio 3 en el sector Sancuta	105
15. Interpretación de resultados del análisis físico químico y bacteriológico del pozo exploratorio 1 en el sector Chaullacamani Quety	107
16. Interpretación de resultados del análisis físico químico y bacteriológico del pozo exploratorio 2 en el sector Chaullacamani Quety	109
17. Interpretación de resultados del análisis físico químico y bacteriológico del pozo exploratorio 1 en el sector Alfonso Ugarte	111
18. Interpretación de resultados del análisis físico químico y bacteriológico del pozo existente en el sector Alfonso Ugarte	113



19. Agrupación de los valores de los análisis físicos químicos.	
Análisis de Componentes Principales (PCA)	116
20. Agrupación de los valores de los análisis físicos químicos.	
Análisis de Componentes Principales (PCA)	116
21. Agrupación de los valores de los análisis físicos químicos.	
Análisis de Componentes Principales (PCA)	117
22. Estadísticos descriptivos obtenidos con el programa SPSS	118
23. Matriz de correlación entre pH, turbidez y color	119
24. Matriz de correlación entre dureza total, solidos totales disueltos, cloruros, y nitratos	120
25. Matriz de correlación entre los parámetros fisicoquímicos: Nitritos, sulfatos, aluminio y antimonio	121
26. Matriz de correlación entre los parámetros fisicoquímicos: arsénico, bario, boro, cadmio	122
27. Matriz de correlación entre cobre, cromo, hierro, manganeso	123
28. Matriz de correlaciones entre molibdeno, níquel, plomo, selenio	124
29. Matriz de correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos: sodio, zinc	125
30. Comunalidades obtenidas en los parámetros fisicoquímicos	126
31. Valores de varianza total explicada	127
32. Resumen de valores de varianza total explicada	129
33. Matriz de componente	130
34. Matriz de componente rotado	131
35. Matriz de transformación de componentes	132
36. Matriz de transformación de componentes	133
37. Clasificación de las aguas según familias químicas	136
38. Familias químicas de las aguas encontradas en la zona de estudio	137
39. Clasificación química de las aguas subterráneas en el lugar de estudio	138
40. Relación entre el tipo de suelo, resistividad aparente y calidad del agua	144
41. Análisis fisicoquímicos obtenidos en el Sector Sancuta	179
42. Análisis fisicoquímicos obtenidos en el Sector Quety	180
43. Análisis fisicoquímicos obtenidos en el Sector Alfonso Ugarte	181

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Esquema general de las áreas de recarga y tránsito en un acuífero	7
2. Configuración de los electrodos de alimentación A y B; y receptores M y N	17
3. Flujograma del procesamiento para los SEV.	19
4. M – 1 Mapa de ubicación	41
5. M – 2 Mapa de unidades hidrográficas	43
6. M – 3 Mapa de clasificación hidrogeológica	45
7. Disposición de Schlumberger simétrico	49
8. Diagrama de Pipper	56
9. Diagrama de Durov	57
10. Análisis de componentes principales.	60
11. M – 4 Mapa Geológico del lugar de estudio	66
12. Interpretación de resultados en el SEV N° 1 Sancuta	69
13. Interpretación de resultados en el SEV 2 Sancuta	71
14. Interpretación de resultados en el SEV 3 Sancuta.	73
15. Interpretación de resultados en el SEV 4 Quety	75
16. Interpretación de resultados en el SEV 5 Quety	77
17. Interpretación de resultados en el SEV 6 Quety	79
18. Interpretación de resultados en el SEV 7 Quety	81
19. Interpretación de resultados en el SEV 8 Alfonso Ugarte	83
20. Interpretación de resultados en el SEV 9 Alfonso Ugarte	85
21. Interpretación de resultados en el SEV 10 Alfonso Ugarte	87
22. Columna estratigráfica del SEV 01 Sancuta	91
23. Columna estratigráfica del SEV 02 Sancuta	92
24. Columna estratigráfica del SEV 03 Sancuta	93
25. Columna estratigráfica del SEV 04 Quety	94
26. Columna estratigráfica del SEV 05 Quety	95
27. Columna estratigráfica del SEV 06 Quety	96
28. Columna estratigráfica del SEV 07 Quety	97



29. Columna estratigráfica del SEV 08 Alfonso Ugarte	98
30. Columna estratigráfica del SEV 09 Alfonso Ugarte	99
31. Columna estratigráfica del SEV 10 Alfonso Ugarte	100
32. Gráfico de sedimentación según componentes	129
33. Componentes en espacio rotado.	132
34. Clasificación de las aguas por familias químicas	135
35. Diagrama de Piper en la zona de estudio Cuenca Zapatilla Pilcuyo	136
36. Diagrama de Piper para zona investigada del río Zapatilla, en Pilcuyo	137
37. Sección geológica Sancuta, Chujuyo, Challapujo.	139
38. Sección geológica Chaullacamani, Quety	140
39. Sección geológica sector Alfonso Ugarte	141
40. Secciones geológicas obtenidas en la zona de estudio	142
41. Sección geológica general de la zona de estudio	142
42. Diagrama de Durov en el lugar de estudio	143
43. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 1 en el sector Alfonso Ugarte	157
44. Realización del Sondaje Eléctrico Vertical 2 en el sector Alfonso Ugarte	157
45. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 1 Sector Quety Chaullacamani	158
46. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 2 Sector Quety Chaullacamani	158
47. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 1 en el sector Sancuta	159
48. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 2 en el sector Sancuta	159



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Álbum fotográfico	157
2. Data de los sondajes eléctricos verticales (DATA SEV)	160
3. Certificados de Análisis de Agua Pozos 01,02,03-Sancuta y otros	167
4. Resultados de los análisis físicoquímicos por sectores	180

RESUMEN

En los últimos diez años, el déficit de aguas superficiales para los sistemas de abastecimiento de agua potable en zonas rurales de Puno, ha orientado a usar aguas subterráneas, cuya disponibilidad lo determina un estudio hidrogeológico, es el caso de los sectores del distrito de Pilcuyo: Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte, ubicados en la cuenca del río Zapatilla; efectuándose esta investigación para determinar su existencia y las relaciones entre los suelos, valores de resistividades aparentes y calidad de sus aguas; siendo los objetivos determinarlas, empleando el método de Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs) y los análisis fisicoquímicos de las aguas subterráneas. Los resultados encontraron esas relaciones, valores de resistividad aparente varían de 43 Ω -m (Sector Alfonso Ugarte) a 143 Ω -m (Sector Quety), correspondiendo a conglomerados, lutitas y lodolitas, arcillita, arenisca bloques de grava, arena, limo y arcilla; materiales permeables, concluyéndose que existe relación directa; en cuanto a la calidad del agua, también tiene relación directa con la resistividad aparente, en sector Sancuta el agua es apta, con una resistividad aparente promedia de 75.23 Ω -m, igual en sector Alfonso Ugarte con una resistividad aparente promedia de 52 Ω -m, presentando metales pesados: arsénico (As), manganeso (Mn) fierro (Fe) y plomo (Pb) y aluminio (Al) en pequeñas proporciones, considerando a las aguas aptas con simples tratamientos para su uso, no así en el sector Quety con resistividad aparente promedia de 118.25 Ω -m, por estar cerca al Lago Titicaca; por tener algo de turbidez, un pH alcalino, requiriendo un tratamiento especial para su uso.

Palabras clave: Aguas subterráneas, agua superficial, análisis fisicoquímico, Calidad del agua, estudio hidrogeológico, resistividad aparente, sondaje eléctrico vertical.

ABSTRACT

In the last ten years, the deficit of surface water for drinking water supply systems in rural areas of Puno, whose availability is determined by a hydrogeological study, this is the case of the sectors of the Pilcuyo district: Sancuta, Quety and Alfonso Ugarte, located in the Zapatilla river basin; this investigation is being carried out to determine its existence and the relationships between the soils, apparent resistivity values and the quality of its waters, the objectives being to determine them, using the method of Vertical Electrical Soundings (SEVs) and the physicochemical analysis of groundwater the objectives being to determine these relationships, through the SEVs method, and the physicochemical analysis of groundwater. The results found these relationships, apparent resistivity values vary from 43 Ω -m (Alfonso Ugarte Sector) to 143 Ω -m (Quety Sector), corresponding to conglomerates, shales and mudstones, claystone, sandstone gravel blocks, sand, silt and clay; permeable materials, concluding that there is a direct relationship; Regarding the quality of the water, it is also directly related to the apparent resistivity, in the Sancuta sector the water is suitable, with an average apparent resistivity of 75.23 Ω -m, the same in the Alfonso Ugarte sector with an average apparent resistivity of 52 Ω - m, presenting heavy metals: arsenic (As), manganese (Mn), iron (Fe) and lead (Pb) and aluminum (Al) in small proportions, considering the water suitable with simple treatments for its use, not so in the sector Quety with an average apparent resistivity of 118.25 Ω -m, due to being close to Lake Titicaca; due to having some turbidity, an alkaline pH, requiring a special treatment for its use.

Keywords: apparent resistivity, groundwater, hydrogeological study, physicochemical analysis, surface water, vertical electrical sounding, water quality.

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas en el mundo continúan causando escasez de agua en gran proporción, adicionado a ello el crecimiento de la población en los países desarrollados económicamente; también contribuyen el uso inadecuado de los recursos hídricos que conduce a la contaminación del agua y el acceso desigual, siendo la primera causa, la que más contribuye a dicha escasez, pues del agua que es accesible se distribuye a la creciente población del mundo, principalmente en vías de desarrollo económico. De acuerdo a estudios realizados por instituciones gubernamentales de cada país, sobre el agua, existe una cantidad determinada, definida por el caudal medio anual que transportan los ríos y el que almacenan los acuíferos existentes, lo que aparentemente constituye la reserva renovable de cada país, originado por las precipitaciones; lo que se visualiza en el ciclo hidrológico. Con el transcurrir del tiempo, dicha reserva, se distribuye a una población que es cada vez mayor, originando menor disponibilidad de agua en condiciones óptimas para su uso, contribuyendo a ello también la contaminación de la misma.

A pesar de afirmarse que es el agua, lo que más existe en la tierra, no es preciso generalizar; ya que se conoce que la cantidad disponible de ella para uso poblacional, no supera el 1% de la totalidad de agua existente, sabiendo que, en condiciones adecuadas, constituye un elemento vital para dicho uso. En las últimas décadas, la disponibilidad del agua para uso poblacional, ha sido preocupación creciente y ha originado debates internacionales, tales como el desarrollado en Dublín (Irlanda), en el mes de enero del año 1992, como la Conferencia Internacional relacionado al agua y medio Ambiente: “(United Nations Environment Programme (1992). *International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century*, n.d.)” (ICWE), auspiciada por Naciones Unidas.

Luego en el año 1993 el Banco Mundial efectuó una publicación detallada de lineamientos, definiendo objetivos para manejar el agua. Otra entidad que se preocupó por el tema del agua, fue la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), que estableció el Programa de Acción Internacional sobre el Agua y el Desarrollo Agrícola Sostenible (PAIADAS); realizándose en México en el año 2006, el IV Foro mundial del Agua.

Todas estas iniciativas tuvieron como fin valorar el agua, por ser un recurso que se hace más escaso, siendo preocupante no aceptar que sus reservas no son permanentes, por lo

que, no queda duda, que el incremento de su escasez y su uso inadecuado, constituye una amenaza seria, que impide que los pueblos desarrollen sosteniblemente.

A pesar de ello, se sigue incurriendo en su uso irracional, generalizándose desde las comunidades rurales hasta las zonas urbanas, como también en los sectores agricultura e industria, en los países desarrollados con economías industrializadas; lo que indica que casi la totalidad, efectúan uso inadecuado del agua, sin tener en cuenta lo dicho por Caceres (2018), quien señala que en cuanto a la naturaleza del agua de los ríos, lagos, lagunas, manantiales, y de los acuíferos existentes en las cuencas de cada zona, región o país, está deteriorándose a consecuencia de los residuos urbanos e industriales, que se generan en ellas.

En cuanto a las aguas subterráneas, su uso es cada vez más intensivo, y es en este aspecto donde se ubica nuestra investigación, pues esa intensidad de uso, se da ante el déficit de las aguas superficiales en diversos sectores de la cuenca del río Zapatilla, considerando además que el agua subterránea en los acuíferos, por su propia formación, no está excepta de ser apta para su uso inmediato, tanto en cantidad como en calidad, esta última por su naturaleza depende de las formaciones geológicas por las que circula, de ahí la necesidad de seleccionar los procesos de exploración para su determinación, que pueden ser directas o indirectas.

En los últimos años, se viene planificando la ejecución de sistemas de saneamiento en distintas zonas rurales de la región de Puno, y en este caso específico en tres sectores del distrito de Pilcuyo: Sector Sancuta , Sector Quety y Sector Barrio Alfonso Ugarte, ubicados hidrológicamente en la cuenca del río Zapatilla; los cuales tendrán como fuente de alimentación, el agua subterránea que se extrae de los acuíferos en la zona, a través de pozos tubulares, previo a ello, se determina la existencia de dichos acuíferos, a través de un estudio hidrogeológico, en el que se efectúa la exploración en forma indirecta mediante el método de Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), que consiste en inyectar corriente eléctrica continua a través de electrodos, obteniéndose valores de resistividades aparentes de los suelos (formaciones geológicas) en la zona de estudio.

Estos valores debidamente interpretados, definen la disponibilidad del agua subterránea en cantidad y calidad, corroborando esos resultados con la exploración directa a través de pozos exploratorios de los cuales se extrae muestras de agua para su análisis físico químico y bacteriológico, considerando la normatividad establecida por la Autoridad



Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio de Salud (MINSA), por lo que es necesario determinar la relación entre los valores de resistividad aparente encontrados con las características de los suelos de las zonas evaluadas y con la calidad del agua subterránea que contienen.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1. Aguas subterráneas y acuíferos

Agua subterránea, es aquella que se mueve por gravedad, a través de espacios denominados grietas, fisuras o poros que existen en el suelo o formaciones geológicas existentes a profundidad en una determina zona, constituyéndose en un canal de movimiento de dicha agua. La corteza terrestre, lo conforman materiales muy heterogéneos, con cualidades y disposición geográfica a ser evaluadas, su conocimiento permite saber de los aspectos geológicos de las reservas de aguas en una determinada área, logrando describir como se originan y cuáles son las propiedades de los suelos o formaciones geológicas, que las almacenan subterráneamente, por lo que reciben la denominación de acuíferos (García & Castro, 2018).

Borchers *et al.* (2014), consideran al agua subterránea como fuente importante para abastecer áreas urbanas y rurales; dándose uso en actividades agrícolas, beneficiando también a los peces y sus entornos; como también protegiendo a ecosistemas, en periodos de estiaje y sequías. Cuando los suministros de agua superficial son limitados, el agua subterránea se convierte en un amortiguador importante que proporciona más agua.

Iah (2017), señala que desde su origen, la población mundial ha satisfecho la mayoría de requerimientos de agua en condiciones óptimas, usando aguas subterráneas. En el siglo XX, existió apogeo grandioso construyendo pozos, en zonas urbanas para abastecerse de agua; asimismo, para las irrigaciones y para las industrias, sostenido por el desarrollo de las técnicas en la perforación de pozos, con conocimientos de hidráulica y principalmente del conocimiento geológico, haciendo que el agua subterránea se convierta en un elemento gravitante para lograr bienestar y desarrollo económico en la sociedad.

Según lo descrito anteriormente, el agua subterránea es la principal fuente de los sistemas de abastecimiento de agua debido a la creciente demanda de agua para satisfacer necesidades en las importantes ciudades (Subba & Chaudhary, 2019). En un ámbito global, un tercio de la extracción de agua dulce, se obtiene de aguas subterráneas. Estas se destinan el 42% al uso agrario, 36% al uso poblacional o doméstico 36% y 22% al uso industrial (Doll *et al.*, 2012).

Según Subba & Chaudhary (2019), el acceso al agua es un derecho humano importante, siendo un aspecto fundamental de la integridad social y el desarrollo sostenible, cuya gestión eficaz se reconoce con el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, conociendo que las aguas subterráneas son el 98% del agua descongelada en buenas condiciones disponible para constituirse como fuente de los sistemas de abastecimiento multiusos, que dependerá de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas.

Se conoce que existen formaciones geológicas o suelos, que constituyen acuíferos en las que se almacena agua subterráneamente, las que luego son cedidas; siendo por ello, sistemas de transmisión y de almacenamiento; porque a través de ellos, se traslada agua subterránea proveniente de la infiltración, las que van a los lagos, pantanos, manantiales, y a otros sistemas de recepción, considerándose reservorios de agua, para luego cederlas y usarlas en el caso que su extracción es mayor a la recarga, almacenando agua en épocas en las que la acumulación supera a la extracción; los espacios vacíos, fisuras, grietas o poros, en las formaciones geológicas de los acuíferos, pueden ser espacios intergranulares, lo que se da en las formaciones geológicas constituidas por almacenes de sedimentos granulares

(constituidos por arenas y gravas), compactos o sueltos; intersticios con sistemas de mezcla homogénea de sedimentos como lo señala (García & Castro, 2018).

De lo afirmado por Frankel (2015), dice que en los más importantes acuíferos en el mundo, de cuyas aguas dependen cientos de millones de habitantes, se están agotando en forma muy acelerada, según información de la NASA, tanto así que, de 37 acuíferos más extensos a nivel mundial, 21 ya han sobrepasado su punto de sustentabilidad; toda vez que se ha extraído mayor cantidad de agua de la acumulada en ellos, en un período de diez años de evaluación, confirmando la información de la NASA, evaluado por muchos investigadores, fundamentalmente en acuíferos no alimentados por precipitaciones.

Igualmente, el crecimiento económico acelerado, afecta la aptitud de las aguas subterráneas, originado por el uso sin control de la misma en áreas desérticas, originando mayores porcentajes en su extenuación. Las investigaciones hidroquímicas que se realizan de manera integral, es con el objetivo de determinar los aspectos que originan la alta contaminación del agua subterránea, así como también como se distribuyen los contaminantes en un espacio, mostrando la afectación que se da en una zona considerable del acuífero (El Alfy *et al.*, 2017).

Para Martínez (2013), las características litológicas en los acuíferos, dentro de ellos los kársticos que existen en la zona denominada Serranía de Cuenca, en España, conforman un buen laboratorio porque en ellos se puede definir variaciones que tienen establecidos en diferentes formaciones litológicas como las calizas, dolomías y yesos, y en épocas como en el triásico, jurásico y cretácico, su evolución geomorfológica como de su recarga y en sus propiedades hidrogeológicas tales como propiedades del acuífero, factores hidráulicos, operaciones hidrodinámicas, mediciones de niveles estático, condiciones de los ríos-acuífero, hidroquímica de elementos mayoritarios, minoritarios e isótopos permanentes, propiedades fisicoquímicas. Realizando el estudio en detalle, se otorga un nuevo sentido a la función y grado de confinamiento de los acuíferos carbonatados.

De acuerdo a lo señalado por Rosado & Salas (2018), siempre es necesario tener en cuenta que, al hablar del recurso hídrico subterráneo, surgen dos conceptos imprescindibles que son conocimiento y gestión, por lo que es necesario indagar acerca de la distribución, volumen, geometría y demás variables que afectan a un

acuífero para hacer un uso adecuado del mismo. Las áreas de recarga y de tránsito en un acuífero son piezas fundamentales en todo estudio de aguas subterráneas, además, su definición espacial y temporal es clave para el conocimiento y protección de este valioso recurso.

La recarga de un acuífero se produce a través de tres procesos importantes: i) recarga directa por precipitación, ii) interacción con cuerpos de agua superficial y iii) flujos regionales (ver Figura 1), según Escobar *et al.* (2017); además, señalan que las zonas de recarga son dependientes mayormente de la geomorfología (pues zonas de poca pendiente originan la retención y luego la infiltración del agua lluvia), y también de otros parámetros, como son: distribución espacial, rasgos estructurales, coberturas, hidrografía, condiciones hidrometeorológicas y parámetros hidráulicos.



Figura 1. Esquema general de las áreas de recarga y tránsito en un acuífero (Escobar *et al.*, 2017).

Dichos parámetros en un sistema del agua subterránea, son regulados por tres integrantes en un sistema hidrogeológico: el conjunto geomorfología - topografía, la geología y el clima, los que a su vez, están controlados por otros parámetros, como al aspecto topográfico influye la extensión y características de las superficies topográficas están orientados y por la regularidad se dan los relieves geológicos; en los aspectos geológicos influye en la cantidad de componentes divisibles, que hace que exista diversidades geológicas como laminación de estratos, lenticularidad, fallas geológicas, fracturación, karstificación y nivel de anisotropía; también influye en la variación del clima, de la temperatura y en la

determinación, clase y cambio temporal de las precipitaciones y evapotranspiración potencial (García & Castro, 2018).

1.1.2. Métodos de prospección: métodos geofísicos

El objetivo de la investigación hidrogeológica, es la búsqueda de reservorios de agua subterránea denominados acuíferos, que tengan características que permitan que el agua contenida en ellos, pueda ser extraída. Los métodos de investigación o de exploración existentes, están divididos en directos e indirectos, en éstos últimos ubicamos los geoelectrónicos que son métodos geofísicos que permiten describir las formaciones geológicas existentes en la zona explorada con contenido de agua subterránea, en base a algún parámetro físico, mediante mediciones desde la superficie, y ver como se distribuye en profundidad las magnitudes electromagnéticas, tales como permeabilidad magnética (μ), permitividad o capacidad de un dieléctrico (ϵ) y resistividad aparente (ρ), y la que se obtiene ejecutando Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) como es la resistividad eléctrica (Paganini, 2019).

La geofísica considerada como una ciencia natural, utiliza los principios básicos de la física para estudiar el comportamiento de ciertos componentes de la Tierra, como campo magnético, densidad de las rocas, su capacidad para conducir corrientes eléctricas y ondas sísmicas, movimiento de continentes, fondos marinos, etc. Su aplicación, permite realizar inicialmente y en forma indirecta, un diagnóstico como está constituido el subsuelo, como es su estructura luego de interpretar varias propiedades físicas del suelo, obtenidas de varias medidas en el campo y luego de procesarlas en gabinete, con el uso de software Ipwin2. La técnica geofísica usada, corresponde a la evaluación de una propiedad determinada de las formación geológica o suelo, existiendo numerosas formas para tomar medidas sobre el suelo, las cuales se adaptan a la escala y el objetivo de cada trabajo, desde reconocimientos regionales a caracterizaciones locales y superficiales (Carrasco, 2013).

Las técnicas de geofísica usadas, tienen como objetivo, identificar formaciones geológicas a profundidad, midiendo un parámetro físico relacionado a ellas, como densidad, velocidad de las ondas elásticas, resistividad eléctrica, y son necesarias cuando existen diferencias muy definidas en las características de los materiales

de las formaciones geológicas existentes, usadas en el cartografiado de los estratos del suelo, definiendo también donde se ubica el nivel estático de las aguas subterráneas y el fondo del acuífero. La profundidad de investigación y resolución de estas metodologías dependen del equipo a usar y de la naturaleza del terreno a investigar, en la investigación geotécnica, las metodologías de exploración geofísica a usar, se combinan con el análisis en forma directa en campo y con los resultados obtenidos en pozos exploratorios o sondeos mecánicos; lo primero tendrá mucha utilidad para ubicar los pozos exploratorios (Arias *et al.*, 2012).

Las metodologías de prospección eléctrica a nivel superficial han sido utilizadas, para resolver dificultades al investigar la existencia de las aguas subterráneas. Su uso tiene como fundamento la medición de la resistividad eléctrica del suelo o formación geológica (Reynolds, 2011).

La mayor parte de las formaciones geológicas, conformantes de la parte superior de la corteza terrestre, se encuentran erosionadas, en poca o mucha proporción, presentando fisuras o poros, los que contienen agua, en algunos casos con sales disueltas, lo aumenta la capacidad de conducción de la corriente eléctrica (Arredondo, 2015).

Por lo descrito anteriormente, García & Castro (2018), identifican a la geofísica como ciencia, por basarse en leyes físicas científicamente definidas; la consideran una técnica, por usar equipos y métodos para evaluar diferentes materiales del suelo y subsuelo; donde las características y forma de distribución de los materiales, se establecen de evaluaciones a nivel superficial y relieves, clasificándolos según su comportamiento ante el método empleado; existen diversos métodos de prospección geofísica, según el origen del fenómeno considerado y si es natural, inducido o provocado. Los registros geofísicos se realizan con información a nivel de superficie o bien en pozos exploratorios (perforados y/o entubados). Los diversos métodos de prospección geofísica, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

Métodos de prospección geofísicas más usadas en la exploración del suelo o formación geológica

Método	Propiedad física a medir	Origen del fenómeno
Gravimétrico	Aceleración gravitacional	Natural
Electromagnético	Sensibilidad magnética	Provocado
Radioactivos	Radioactividad	Natural o provocado
Térmicos	Temperatura	Natural
Sísmicos	Refracción	Provocado
	Reflexión	Provocado
Eléctricos:	Corrientes telúricas	Natural
	Telúrico	
	Potencial espontaneo	Natural
	Líneas isopotenciales	Provocado
	Resistividad eléctrica (1D, 2D y 3D)	Provocado

Fuente: García & Castro, (2018)

Toledo (2015) indica que los métodos de investigación geoelectrica que usan corriente continua o permanente, su fundamento es la definición general del campo eléctrico permanente, con base en la percepción de los impactos someros ocasionados por el flujo de la corriente eléctrica, en forma natural, provocada o inducida, a través del subsuelo, obteniendo datos de las características del suelo, con método que usa corriente permanente o continua, en una disposición constituida por cuatro electrodos, denominado de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), los cuales se ubican sobre el terreno para inyectar corriente eléctrica a la formación geológica a evaluar, siendo en la disposición de electrodos muy importante una variación de los dispositivos de medida, ello hace que este procedimiento al realizar esas medidas, sea flexible para investigar variaciones que se originan en la distribución de la resistividad en el suelo, dicho método usa como parámetro físico, a la resistividad denominada resistencia específica.

Además, Toledo (2015) manifiesta que inicialmente con los métodos de prospección geofísica se obtuvo grandes resultados en la búsqueda de yacimientos mineros, descubriendo depósitos con minerales, con aguas subterráneas, estructuras arqueológicas entre otros; los que debido al progreso de las tecnologías, se mejoraron y transformaron para obtener más desarrollo y bienestar de la sociedad, no obstante, las técnicas de investigación geofísica, no todas se utilizan para determinar en forma directa depósitos, lo que dependerá en detectar estructuras geológicas que contengan recursos naturales de gran valor económico,

siendo necesario seleccionar adecuadamente el método de prospección según el recurso buscado.

Para el uso del método de prospección geofísica, empleando la resistividad eléctrica, la fuente de inducción lo constituye un circuito de corriente permanente o alterna; pudiendo ser métodos resistivos en una sola dimensión-1D: la resistividad eléctrica varía únicamente a profundidad en el punto investigado, dos dimensiones-2D: la resistividad eléctrica varía a profundidad y a los lados horizontalmente, y en tres dimensiones-3D: la resistividad eléctrica varía en tres ejes (García & Castro, 2018).

La geoelectrónica, es parte de la geofísica, que evalúa el comportamiento de las rocas y sedimentos al paso de la corriente eléctrica. Los métodos geoelectrónicos mayormente usados en estudios hidrogeológicos, son los basados en la aplicación en forma artificial o provocada de una corriente eléctrica, el más usado el de sondajes eléctricos verticales (SEVs) y menos usado las calicatas eléctricas (CE); existiendo otros como el de polarización inducida (PI), y el de potencial espontáneo (PE) basado en mediciones de campos eléctricos naturales (Auge, 2008).

A través de los métodos geoelectrónicos, se obtienen imágenes que permiten ver la distribución de las resistividades eléctricas en las formaciones geológicas, en forma vertical; es decir, a profundidad, cuya interpretación permite definir estructuras geológicas para conocer la variación de la resistividad en diversas clases de sedimentos que constituyen el suelo y/o las formaciones geológicas de la zona evaluada, para lo cual es necesario conocer los valores de resistividad de cada roca o formación geológica y materiales más comunes (Carrasco, 2013).

Según la literatura consultada y revisada, las variables eléctricas que varían según el tipo de formación geológica o suelo por donde circula la corriente eléctrica y el agua contenida en ellas, son la resistividad y la permitividad eléctrica, siendo las técnicas más usadas para medirlas, las de Wenner y Schlumberger, que aplican corriente eléctrica continua al suelo, a través de electrodos de cobre o acero dispuestos en él, cumpliendo una disposición geométrica horizontal; en base a esa corriente aplicada y a la tensión o diferencial de potencial que se mide simultáneamente en el equipo denominado Georesistímetro, se obtienen datos

de intensidad de corriente y voltaje, con los cuales se determina la resistividad o resistencia aparente del medio (H. Sanz *et al.*, 2010).

De la revisión efectuada a otras fuentes bibliográficas para conocer los valores de resistividad aparente de una formación geológica específica, estos no coinciden tratándose del mismo suelo o formación geológica en diferentes investigadores, deduciéndose que las características de las zonas donde se aplican las técnicas geofísicas, son diferentes para cada investigador, debido a que ellos se basan por la resistividad del suelo o la formación geológica (ρ), pese a la sencillez relativa de su definición establecida, lo que hace que su determinación, represente una tarea compleja, por dos razones importantes como las siguientes:

- El suelo o formación geológica, no tiene una estructura homogénea definida, por estar constituido por estratos que contienen diferentes materiales;
- La resistividad de un determinado tipo de suelo o formación geológica, tiene mucha variación, tal como se observa en la tabla 2, lo que a su vez depende del contenido de agua que tengan.

De las fuentes señaladas anteriormente y de otras, resulta importante enfatizar que ninguna de ellas evidencia con qué frecuencia consideraron valores de resistividad aparente, para los diferentes tipos de suelos o formaciones geológicas, que se muestran en las tablas 2, 3 y 4 que se presentan.

Tabla 2

Resistividades aparentes según tipo de suelos o formaciones geológicas

Tipo de Suelo o formación geológica	Resistividad aparente del suelo (ρ) en Ω -m	
	Rango de valores	Valor medios
Suelo pantanoso	2 - 50	30
Mezcla de barro y paja	2 – 200	40
Suelo fangoso y arcilloso, con humus	20 – 260	100
Arena o suelo arenoso	50 – 3 000	200
Turba	> 1 200	200
Grava con agua (húmedo)	50 – 3 000	1 000
Suelo pedregoso y rocoso		
Hormigón:	100 – 8 000	2 000
1 porción de cemento + 3 de arena	50 – 300	150
1 porción de cemento + 5 de grava	100 – 8 000	400

Tabla 3

Resistividades aparentes en varios suelos o formaciones geológicas

Naturaleza del suelo	Resistividad aparente en Ω -m
Suelos pantanosos	± 3 a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba con humedad	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas duras	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arenas con arcillas	50 a 500
Arena con sílice	200 a 3 000
Suelo pedregoso con cubierta vegetal	300 a 5 000
Suelo pedregoso sin cubierta vegetal	1 500 a 5 000
Calizas suaves	100 a 300
Calizas duras	1 000 a 5 000
Calizas fisuradas	500 a 1 000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres poco alterados	1 500 a 10 000
Granito y gres bastante alterado	100 a 600

Fuente: Grcev (1992)

Teniendo en cuenta la calidad del agua alojada en los poros o intersticios en el suelo o formación geológica encontrada en la zona evaluada, y la resistividad del agua en esas condiciones, se puede clasificar los suelos o formaciones geológicas, teniendo en cuenta su resistividad aparente, lo que se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Resistividad aparente en suelos o formaciones geológicas

Naturaleza del suelo	Resistividad aparente en $\Omega - m$
Suelos pantanosos	30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50 a 100
Margas y arcillas duras	100 a 120
Margas del jurásico	30 a 40
Arena con arcilla	50 a 500
Arena con sílice	200 a 3 000
Suelo pedregoso con cubierto vegetal	300 a 500
Suelo pedregoso sin cubierta vegetal	1 500 a 3 000
Calizas suaves	100 a 300
Calizas duras	1 000 a 5 000
Calizas fisuradas	500 a 1 000
Pizarra	50 a 300
Granito y gres alteradas	1 500 a 10 000
Roca ígnea	5 000 a 10 000

Fuente: Markiewicz & Klajn (2003)

1.1.3. Sondajes eléctricos verticales y resistividad de los suelos

Un Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), se realiza para obtener un modelo que nos permita visualizar como varía la resistividad aparente en sentido vertical; es decir, a profundidad, ejecutándose en base a mediciones efectuadas a nivel de superficie. La corriente eléctrica inyectada en dicho proceso, alcanza una profundidad que aumenta cada vez que aumenta la distancia AB donde existe entre electrodos a través de los cuales se inyecta corriente eléctrica, a pesar de no existir una relación de proporcionalidad entre ambas (Auge, 2008).

El objetivo del sondaje eléctrico vertical (SEV), es obtener valores de resistividad aparente y mediciones del voltaje o diferencia de potencial en las formaciones geológicas o suelos, en una distribución verticalmente a profundidad, en el punto

investigado. Para ello se inyecta corriente eléctrica permanente o continua en el suelo, a través de un par de electrodos asignados como AB, midiendo simultáneamente el voltaje, denominado diferencia de potencial generada en el suelo, en otros dos electrodos asignados como MN. Con valores de resistencia eléctrica determinadas con valores de intensidad de corriente (I) medida a través de los electrodos AB, los de voltaje o diferencia de potencial (ΔV) medidos con los electrodos MN, y valores de la longitud de separación entre los electrodos usados, se calcula la resistividad aparente de la formación geológica o suelo (Arias *et al.*, 2012).

La profundidad a la que se aplica la energía eléctrica continua en la formación geológica o suelo, es función de la distancia que existe entre los electrodos AB mediante los cuales se aplica corriente eléctrica continua, donde a medida que aumenta la distancia de separación de los electrodos AB, la energía eléctrica aplicada circula a más profundidad, disminuyendo su densidad.

En un suelo homogéneo, considerado medio isotrópico y homogéneo, el 50% de la intensidad de energía eléctrica aplicada, alcanza profundidad cuya longitud es mayor que la distancia media que existe entre los electrodos AB ($AB/2$), recorriendo una profundidad que es el 70.6% de la distancia entre los electrodos AB, según lo indicado en Orellana (1982). Pero, no siempre se puede limitar a una profundidad que este debajo a la cual no exista influencia del subsuelo en el Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), debido a que la densidad de corriente eléctrica baja en forma suave y gradualmente, siendo proporcional a la distancia que existe entre los electrodos AB, teniendo esto validez para un suelo o formación geológica homogénea, como lo señalan (Arias *et al.*, 2012).

En la aplicación del método del Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), para cada medida en el punto a evaluar del terreno, se usa cuatro electrodos, que son estacas de acero o cobre, en dos de ellos se inyecta corriente eléctrica continua, son los electrodos AB y en dos de ellos se recibe la misma, son los electrodos MN, en resumen se inyecta una intensidad de corriente en los electrodos AB que se considera exteriores, y se mide la diferencia de potencial en los electrodos MN considerados interiores para luego usando la ecuación de Ohm ($V = IR$), calcular la resistividad aparente del suelo (Rosado & Salas, 2018).

La figura 2, explica el sustento físico-geológico del Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), cuya base es evaluar la reacción que ofrece la formación geológica o suelo ante la circulación de la corriente eléctrica, inyectada por los dos electrodos exteriores (AB), manteniendo un circuito cerrado como se observa en la figura. Tal reacción se determina usando dos electrodos de medición de voltaje (MN) (Fonseca, 2018).

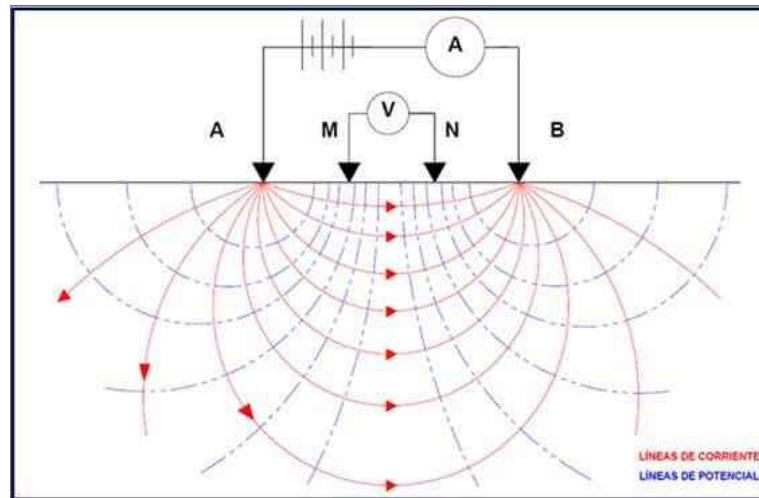


Figura 2. Configuración de los electrodos de alimentación A y B; y receptores M y N (Fonseca 2018).

Los métodos geofísicos usados para la investigación de la existencia de agua subterránea, son diversos, siendo el método más conocido y utilizado, el de Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), conocido también como "perforación eléctrica o sonda de expansión", utilizado mayormente para investigar interfaces horizontales o casi horizontales, en estudios geotécnicos con el fin de determinar el espesor de las mismas, siendo usado también en hidrogeología, con el fin de definir zonas horizontales de estratos porosos y por lo tanto permeables (Kearey & Brooks, 2002).

Varios autores han tratado sobre la importancia del uso del método del Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) en la investigación del agua subterránea, no habiéndose encontrado publicaciones, tanto nacionales como internacionales, que propongan efectuar una evaluación de resultados o metodología para realizarlo. Para Alile *et al.* (2008) el método que utiliza los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), es una herramienta confiable para investigar la existencia de aguas subterráneas, tanto

superficiales como profundas dentro de ambientes sedimentarios y al igual que Arshad *et al.*(2007), concluyen que los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs) constituye un método económico para caracterizar aguas subterráneas, por sus bajos costos respecto a otros métodos.

El método con Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), aplica el concepto de la resistividad. que es un concepto físico inverso a la conductividad, por lo tanto, esta se incrementa cuando el medio no tiene propiedades metálicas o intersticios en los cuales contenga agua con iones que permitan conducir la corriente eléctrica, como lo afirma Loke, (2000).

Kearey & Brooks (2002), señalan que mediante la obtención de datos de resistividades aparentes del subsuelo, es posible hacer un perfil geoelectrico donde se observen las variaciones laterales de resistividad y, con ello inferir información relevante de las propiedades del medio tales como: porosidad, discontinuidades, saturación, profundidad del basamento, condiciones del suelo, entre otras.

La Resistividad aparente, se conceptualiza como la que corresponde a un suelo homogéneo, que a través de un dispositivo de electrodos dado, con una intensidad de corriente inyectada va a producir igual diferencia de potencial como la que corresponde a un suelo heterogéneo (Cosenza, 2006).

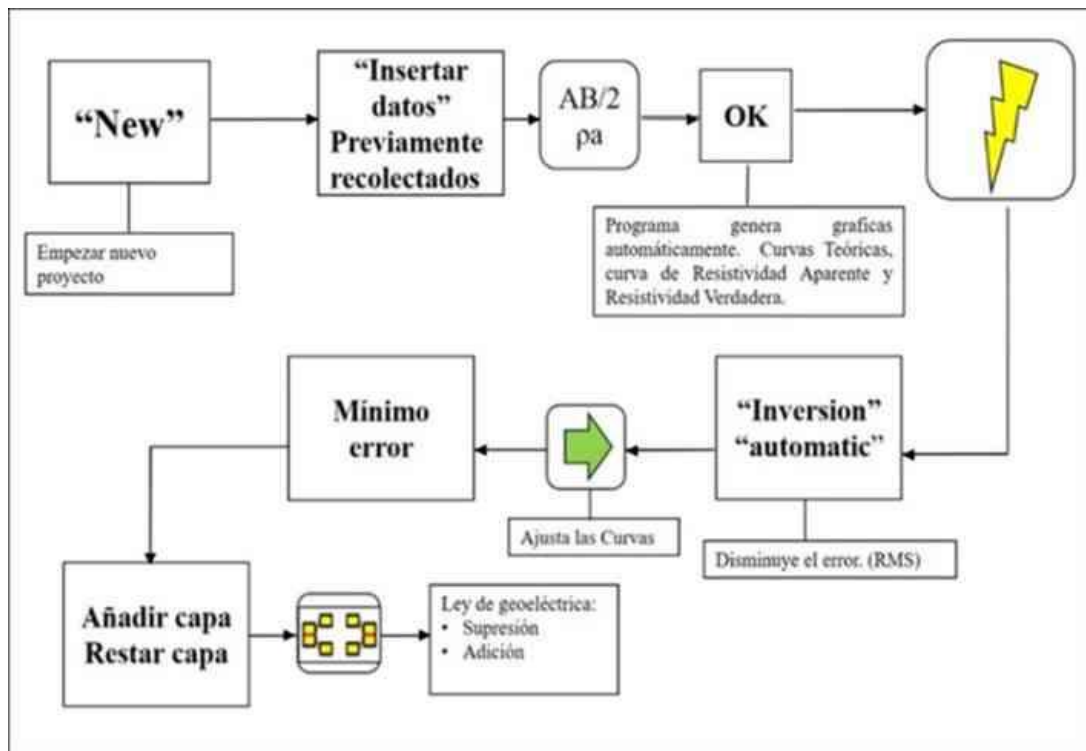


Figura 3. Flujoograma del procesamiento para los SEV. (Rosado & Salas, 2018)

Según Rosado & Salas (2018), la toma de datos en el campo, se efectúa con configuraciones de electrodos cuya disposición varía, dependiendo del objetivo de la investigación que se realiza; siendo la configuración más usada de estos métodos eléctricos, el establecido para el Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), mostrado en la figura 3, toda vez que se puede elaborar modelos de una sola dimensión que corresponde a puntos moderados en la superficie del suelo o la formación geológica.

La resistividad aparente en las formaciones geológicas o suelos, también se mide aplicando otras técnicas geofísicas o electromagnéticas o midiendo su inverso, que es la conductividad, las cuales son más modernas y tienen más precisión que los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), pero este continúa usándose, por ser sencillo y por ser relativamente económico el equipo para ello; otro método que se usa también es el método de Sondaje Eléctrico Horizontal (SEH), conocido como calicata geoelectrica, que registra cambios laterales en la litología que se investiga; recientemente se usa la tomografía eléctrica, método bidimensional, con adquisición de datos de campo totalmente automatizada, permitiendo efectuar

varias mediciones, en profundidad y en forma lateral, en poco tiempo, adquiriendo modelos bidimensionales de buena calidad (Arias *et al.*, 2012).

Según Arias *et al.* (2012), en un determinado material geológico la resistividad eléctrica tiene valores variables muy amplios, porque la conductividad y resistividad eléctrica, tienen dos componentes, la conductividad electrónica que se debe al movimiento de electrones en la masa del material geológico y la conductividad electrolítica debida al movimiento de iones en los fluidos que saturan dicho material; predominando esta última, haciendo que el material tenga alta resistividad, si sus intersticios están llenos con fluidos, presentando valores muy bajos de resistividad aparente, por lo que al interpretar los datos obtenidos en los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), exista gran dificultad para el que los ejecuta al pasar de un patrón teórico de combinaciones de estratos y resistividades, a un patrón físico de estratos y de materiales geológicos, por no existir una relación biunívoca entre los valores de resistividad obtenidos con los materiales existentes.

Lo señalado anteriormente por Arias *et al.* (2012), exige que el ejecutor de los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), tenga conocimientos previos de geología y de formaciones a nivel de superficie, existentes en el lugar donde realiza la investigación, del probable comportamiento ante el paso de la corriente eléctrica, además de tener alta capacidad de interpretación heurística.

En la Tabla 5, se muestran valores típicos de resistividad aparente según materiales geológicos evaluados.

Tabla 5

Valores típicos de resistividad aparente de materiales geológicos

Material	Resistividad Aparente (Ω-m)
Base de roca limpia con diaclasas distanciadas	>10,000
Base de roca fragmentada	1,500-5,000
Base de roca fragmentada llena de agua corriente	
Base de roca fragmentada llena de agua salada	100-2,000
Gruss no saturado	1-100
Gruss saturado	500-1,000
Saprolito no saturado	40-60
Saprolito saturado	200-500
Gravas no saturadas	40-100
Gravas saturadas	500-2,000
Arenas no saturadas	300-500
Arenas saturadas	400-700
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10
Andosoles secos	1,000-2,500
Andosoles no saturados	300-1,000
Andosoles saturados	30-50

Fuente: Hoyos *et al.* (2000)

En la mayoría de las formaciones geológicas y en suelos totalmente secos, los valores de resistividad aparente, son altos, originando que actúen como semiconductores, o conductores con capacidad baja; cambiando en gran proporción cuando las fisuras o intersticios, se llenan de agua, lo que genera que los valores de la resistividad aparente disminuyan, aumentando su capacidad de conducir la corriente eléctrica; asimismo el nivel de saturación influye en la resistividad aparente del suelo y mucho más con el contenido de sales existentes en el agua; a mayor contenido de sales, la resistividad aparente es menor y

viceversa. Las diferencias que existen entre los valores de la resistividad aparente, permiten aplicar con éxito las metodologías existentes de prospección geoelectrica a través de la inyección de corrientes eléctricas continuas o constantes (Auge, 2008).

De la revisión a investigaciones realizadas, para determinar valores típicos de resistividad para un suelo o formación geológica específica, generalmente estos no coinciden, deduciéndose que las metodologías empleadas difieren según el conocimiento del investigador, siendo distintas para cada caso (Sanz *et al.*, 2010).

1.1.4. Sobre hidrogeoquímica

En la composición del agua subterránea, existe una variedad de elementos químicos con distintas concentraciones, siendo mayormente los constituyentes que están en ella, originados por minerales disueltos en los suelos y formaciones geológicas sedimentarias (Islam & Klein, 2017), destacando los metales que se consideran micronutrientes, entre ellos el cobre (Cu), magnesio (Mn), níquel (Ni), zinc (Zn), etc., siendo inicialmente importantes para los organismos vivos, pero que pueden ser tóxicos, en cantidades mayores para un límite determinado, según el uso a darse.

Elementos como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb), considerados metales pesados, son tóxicos causando perjuicios, según lo señalado en investigaciones efectuadas por Chaturvedi *et al.* (2019) y por Kole & Vittal, (2013), estando relacionado a mucho de riesgo de originar cáncer, como es el caso según investigaciones de Bodrud-Doza *et al.* (2019a), del cadmio (Cd) y arsénico (As); siendo los más abundantes en las aguas subterráneas, el fierro (Fe) y el manganeso (Mn) debido a la presencia de inmensas acumulaciones de suelos con dichos elementos a nivel de la superficie de los mismos, tal como lo describen Brassard *et al.* (2011) e Islam & Klein (2017).

La presencia de fierro (Fe) en exceso en las aguas subterráneas, provoca que estas tengan un sabor metálico inusual, pudiendo originar enfermedades al ingerir cantidades por encima del límite permisible como lo señalan Rahman & Gagnon (2014), asimismo la presencia de manganeso (Mn) provoca diversas alteraciones neurológicas, según lo indicado por la Organización Mundial de la Salud, OMS

(2011), siendo causante igualmente del deterioro en el ADN como de los trastornos cromosómicos, lo que origina consecuencias tóxicas para el embrión y por lo tanto al feto (Bodrud-Doza *et al.*, 2019b).

Se sabe que el agua, es el disolvente más universal, además de tener la capacidad de incluir a su composición, sustancias en grandes cantidades, y al entrar en contacto con el suelo o las formaciones geológicas, circula a través de sus intersticios, conformando las aguas subterráneas, siendo por lo tanto las que disuelven más sustancias y elementos contenidos en dichas formaciones geológicas, lo que disuelto inicialmente por las aguas superficiales, ocasionado por el inmenso contacto al atravesar por las formaciones geológicas por donde circulan, más la presencia de dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2) disueltos en ellas, más la baja velocidad cuando circulan a través de dichas formaciones geológicas, originando que el agua subterránea tenga más contenido iónico que las aguas superficiales a pesar de tener el mismo origen (López-Geta *et al.*, 2009).

También López-Geta *et al.* (2009), señalan que la estructura química natural en las aguas subterráneas tiene su origen en procesos como: a) la evaporación y acumulación de sales atmosféricas, aportadas como aerosol marino, en polvo y como sales diluidas en las precipitaciones; b) la interrelación entre el agua y minerales contenidos en el suelo, producto de la hidrólisis o ante la variación en el proceso oxidación-reducción; c) la intrusión marina en zonas costeras, que es incorporación de aguas salinas residuales sin tratamiento.

La mayor parte de sustancias diluidas en las aguas subterráneas son iones, estando presentes alguno de ellos, cuya suma indica prácticamente el total de los iones disueltos; y mayormente los cationes calcio (Ca), magnesio (Mn), sodio (Na) y potasio (K); y los aniones bicarbonatos (NaHCO_3), sulfatos (SO_4^{2-}) y cloruros (Cl^-), incluyendo el anión nitrato (NO_3^-); son los que forman parte del conjunto de iones predominantes, pese a su bajo contenido cuando los efectos antrópicos no son importantes. La presencia del carbonato (CO_3^{2-}) se limita por una concentración de hidrogeniones menor a 8.3 ($\text{pH} < 8.3$), poco común, a valores bajos de pH; parte interesante del carbono inorgánico diluido forma ácido carbónico (CO_3H_2) o monóxido de carbono (CO_2) disuelto. Asimismo, las aguas

subterráneas en ocasiones contienen considerables cantidades no disueltas de ácido silícico, que representan sílice disuelto (López-Geta *et al.*, 2009)

López-Geta *et al.* (2009), indican también que acuíferos detríticos o sedimentarios, tienen bajos valores de mineralización, debido a la variación química en la composición de sus aguas, por la presencia en ellos, de zonas bicarbonatadas cálcicas y magnésicas, como también de zonas sulfatadas o cloruradas cálcicas y sódicas, por lo que su calidad química es aceptada para todo tipo de uso, pudiendo presentar en ocasiones contenidos de macro constituyentes por encima de los límites permisibles de potabilidad.

Debido a las propiedades hidrogeológicas, las aguas subterráneas son menos susceptible a ser contaminadas por las actividades antrópicas y por las variaciones ambientales, pero no así frente al incremento desmedido de la necesidad de tener agua y al exceso de contaminación global, que han originado considerar su tratamiento, como temas de interés mundial (Kumar *et al.*, 2015).

Sobre la conductividad eléctrica del agua, se conoce que esta aumenta según el contenido de electrolitos disueltos, así tenemos que en las aguas subterráneas consideradas dulces el valor de la conductividad oscila entre 100 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en el agua de mar varía de 40000 a 45000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18° C de temperatura. Evaluar la calidad de las aguas subterráneas y efectuar su monitoreo no son procedimientos sencillos por las siguientes razones:

- Muestrear el agua subterránea que tienen los acuíferos, se complica por el gran almacenamiento natural de los mismos, pudiendo ocultarse proyecciones desfavorables en su calidad durante la renovación de ellas en el futuro.
- En la adición de la información, respecto a estados y tendencias, debe considerarse la inmensa variación tridimensional que se da en las propiedades que definen la calidad de las aguas subterráneas con su duración dentro del acuífero, como también considerar el gran predominio de factores específicos considerados en el diseño y construcción de piezómetros o pozos exploratorios.

En determinados acuíferos, las aguas subterráneas se mueven lentamente, existiendo variaciones verticales y laterales, que marcan la calidad de la misma,

por lo que existe limitaciones para su muestreo, existiendo inestabilidad en la determinación de los parámetros, siendo necesario por ello, establecer mayor cantidad de puntos para monitorear dicha agua, consiguiendo una verdadera representatividad en un tiempo dado (Iah, 2017).

Según Egbueri (2019), una de las principales preocupaciones respecto al agua subterránea, se asocia a procedimientos de contaminación provocados por labores agrícolas, pecuarias; por conexiones mal efectuadas y contaminación de fuentes de aguas superficiales que sirven para alimentar artificialmente a los acuíferos.

A pesar de existir muchas investigaciones, y a la implementación de sistemas cuya fuente de alimentación son las aguas subterráneas, aun en países ya desarrollados como en los que están en desarrollo, se sigue realizando acciones que permiten considerar aspectos sobre la variación geoquímica de las aguas subterráneas, sus indicadores de calidad, el peligro por contaminación y los impactos que provoca la variación climática, originando una orientación creciente de investigación de la calidad de las aguas subterráneas en todo el planeta (Cerón *et al.*, 2021).

Por la composición química de las aguas subterráneas, se conoce su procedencia, como también los procesos que la contaminan, dando acceso para definir su calidad, efectuándose para ello, la determinación y análisis de sus características físicas y químicas de la concentración que tenga, en iones mayoritarios y minoritarios, elementos traza, e isotopos; lo cual se establece a través de estudios que efectúan la caracterización físico-química, que considera la tipificación de procesos con intercambio iónico, interacción agua-roca, precipitación y procesos de mezcla; como también los periodos de permanencia, distancia recorrida, mineralogía y geología del acuífero (Bustamante, 2017)

Sulca *et al.* (2011), efectuaron investigaciones, en las que encontraron que la composición de las aguas subterráneas en un punto y momento determinado, depende principalmente de su historia previa en la atmósfera, suelo, zona saturada y no saturada, y de su relación con otras fuentes de agua, reconociendo adicionalmente a otros dos fenómenos que modifican la composición inicial de las aguas subterráneas en el proceso de infiltración y circulación por el medio hidrogeológico como sugieren (Quijano & Valcarcel, 2015).

Respecto al primer fenómeno Cerón *et al.* (2021), manifiestan que está referido al surgimiento de reacciones donde predominan las condiciones reductoras anóxicas en la parte más externa de la zona de saturación y a la presencia de algunas bacterias sulfato reductoras (e.g. *Desulfovibrio desulfuricans*); y con respecto al segundo fenómeno manifestaron, que se demuestra más expresivamente con la disolución y precipitación de fases minerales como son las calizas y dolomitas o a través de la hidrólisis de silicatos. Por lo que El Alfy *et al.* (2017), concluyeron que la integración de las investigaciones hidroquímicas se llevan a cabo para evaluar los factores que controlan la contaminación potencial del agua subterránea y la distribución espacial de los contaminantes, muestra cómo se afecta a una amplia zona del acuífero.

1.2 Antecedentes

1.2.1 A nivel mundial

Según, Gonzáles (1991), indica que al aplicar la geofísica a través de los sondeos eléctricos verticales (SEVs) para determinar aguas subterráneas al Sur de la Cuenca del Duero ubicada en España, encontró que en el aspecto hidrogeológico, el acuífero en esa zona, funciona igual que un sistema multicapa, con sectores y/o niveles libres, zonas semi-confinadas, en peso y en superposición, deduciéndose que en su totalidad los niveles de los acuíferos se comunican por goteo mediante los sectores que actúan como acuitardos intermedios, pero pese a este planteamiento general, señala que los trabajos geofísicos ejecutados en el lugar señalado, indicaría que el acuífero no pertenece a una configuración estructural y de comportamiento hidrogeológico uniforme, muy por el contrario tiene determinada heterogeneidad que se define por la presencia de discontinuidades litológicas.

Paganini (2019), señala que una sola publicación menciona la precisión del método SEV como la efectuada por Van Dam & Meulenkamp (1967), en la que se establece que luego de realizar la perforación, el error en la interpretación de la curva de resistividad es menor al 10% en la determinación del valor en el espesor de la interface subterránea que contiene agua dulce y salada. Este error puede ser mayor o igual al 15% si la información sobre la geología, litología e hidrogeología es insuficiente; con respecto al error en la determinación de cloruro

que contienen las aguas subterráneas, al interpretar los valores de resistividad real, puede llegar a alcanzar un 20%, dependiendo de la información con que se cuenta para elaborar curvas de calificación con mapas de composición de las aguas subterráneas, siendo preciso señalar que se llegó a estas apreciaciones, realizando 2000 SEVs en una superficie de 13.500 km², aproximadamente 1/6 del área de la provincia de Neuquén.

Fonseca (2018), analizó el comportamiento de la resistividad aparente conjuntamente con la intensidad de rayos gamma natural, para ubicar estratos con humedad de los que se pueda extraer aguas subterráneas, en Boyacá y Casanare (Colombia), para lo cual uso metodologías como la de perfilaje eléctrico, de sondajes eléctricos verticales (SEVs) y radiometría, elaborando secciones geológicas-geofísicas para identificar algún estrato con humedad; obteniéndose valores de resistividad aparente muy bajas, lo cual indica presencia de areniscas llenas de agua en las dos zonas evaluadas, lo cual se corroboraría efectuándose perforaciones y corroborando con los registros eléctricos.

Martínez (2009), manifiesta que los contaminantes más peligrosos en los ecosistemas acuáticos son los metales pesados, por ser permanentes y muy tóxicos, siendo los que tienen mayor toxicidad y más eco toxicológicos los siguientes: el mercurio(Hg), plomo(Pb), cromo (Cr), arsénico(As), cadmio(Cd), níquel (Ni), manganeso(Mn), y zinc(Zn), donde en la mayoría de los organismos, el contenido de cada uno de ellos por encima de una concentración límite, puede ser perjudicial.

Bakkali (2005), en su investigación tuvo como fin principal, evaluar la capacidad hídrica de Tizeght, en Marruecos, para ello realizó 5 Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), en los suelos del valle ubicado en la provincia de Taфраoute en Marruecos, utilizando el método eléctrico con arreglo Schlumberger, encontrando estratos que se ubicaban, el primero a una profundidad de 0 a 4.6 m, conteniendo material aluvial seco, el segundo de 4.6 m a 19.6 m, conteniendo material aluvial con agua, el tercer estrato a una profundidad de 19.6 a 33.6 m, conteniendo esquistos alterados, que son rocas metamórficas, conformando zona acuífera, el cuarto estrato de 33.6 a 76,6 m, conteniendo esquistos fracturados conformando

zonas acuíferas y finalmente, el estrato más allá de 76.6 m, conteniendo esquistos sin fracturas con valores de resistividades aparentes muy altas.

Según Moreno (2003), indica que los metales pesados son elementos químicos naturales que forman la corteza terrestre, rocas, suelos y sedimentos, encontrándose en las erupciones volcánicas y en el agua, pero también están presentes en el ambiente por acciones del hombre cumpliendo una función importante como agente para ello, a través de las diferentes acciones antrópicas que desarrolla como también ocasionar cambios en la estructura química o bioquímica que presentan.

Martínez (2009), señala en su trabajo de investigación, que la contaminación dispersa por la presencia de nitrato en las aguas subterráneas, es debido a los procedimientos frecuentes de deterioro ambiental producido las actividades agrícolas inadecuadas, lo que está ocasionando una alta preocupación en la mayoría de la población mundial, toda vez que altera la calidad de las aguas usadas para consumo poblacional como también degrada hábitats acuáticos (donde las aguas subterráneas constituyen el caudal base en muchos ríos, mayormente en épocas de estiaje, favoreciendo el desarrollo de procesos de eutrofización), y a la vez dificulta la recuperación de los acuíferos, luego que se hayan contaminados.

En cuanto a la unidad hidrogeológica, Sanz (2005) la define como la formación geológica que a diferencia de otras, se ubican dentro de un mismo grupo, representando una singular envergadura en lo relacionado a su extensión y magnitud, lo que hace la diferencia entre cada unidad hidrogeológica por su capacidad de acumular y transferir agua en cantidades considerables, como es el caso de las unidades hidrogeológicas denominadas acuífero y acuitardo, mas no en la denominada Acuífugos), por lo que al grupo de estas unidades hidrogeológicas que con una amplitud reducida hidrogeológicamente, se denomina regimen hidrogeológico.

De acuerdo a los cálculos efectuados por Rivera (2008), determino que la totalidad de agua superficial dulce accesible es de 40 000 km³; siendo los glaciares, las nieves perpetuas y permafrost los que contienen una cantidad de agua dulce 27 760 km³ (69.40 %), lo cual realmente en la actualidad no es accesible en su totalidad, de lo que resta, 12 112 kilómetros cúbicos (30.28 %) constituye agua

potable dulce, almacenada como agua subterránea y lo demás constituyen aguas superficiales (0.32%).

Daza (2012), afirma que con los métodos geoelectricos más usados, se elaboran perfiles geo-eléctricos del suelo a profundidad, determinando que áreas con valores de resistividad aparente bajos, estarían relacionadas a la presencia de acuíferos, lo que depende de aspectos litológicos de los mismos. El contenido de aguas subterráneas a altas temperaturas conjuntamente con la formación geológica que las aloja, menores valores de resistividad aparente que de las aguas minerales, siendo esa diferencia de valores muy pequeña, donde es con la metodología de potencial espontáneo, con la que se obtiene esas diferencias en esas aguas en forma considerable. Anormalidades positivas que se presentan, se relacionan con aguas termales y las anomalías negativas están relacionadas con aguas mineralizadas, siendo un buen complemento el uso de estos métodos, pues permiten representar zonas termales.

Connor & Koncagül (2014), estimaron en el 2014, que aproximadamente el 50% de la población, aproximadamente 3 500 millones de habitantes, se abastece en forma directa de aguas subterráneas, siendo entre los sectores con mayor consumo de este 50%; el doméstico con un 67 %, la industria con un 22 % y la agricultura con un 11 %.

Rivera (2008), advirtió que la cantidad promedio que se extrae de agua subterránea en el mundo en un período anual en los últimos diez años, ascendió como mínimo a $4\,500 \times 10^3$ de km^3 ; por lo que, el volumen aproximado de $5\,191 \times 10^3$ de km^3 que se usó en el planeta, dentro del periodo anual del 2000, sería el 0.05 % del volumen total de agua subterránea que es de $10\,500 \times 10^6$ km^3 .

Según Collazo & Montaña (2012), señalan que las características físico-químicas del agua en general y en particular de las aguas subterráneas que se obtienen a través de la extracción en los pozos tanto superficiales como profundos, son variables importantes que definen la clase de uso a darse, sea para uso poblacional o en riego en actividades de agricultura, entre otros; la apariencia que muestre el agua subterránea, depende de los elementos que la constituyan, los que pueden estar disueltos o suspendidos, permitiendo seleccionarla y definir su aptitud. Conocido es que la circulación de las aguas subterráneas y su surgimiento,

constituyen fases importantes del ciclo del agua, denominado también ciclo hidrológico, teniendo en cuenta que la mayoría de las aguas subterráneas, se originan por la infiltración de las precipitaciones, para cuya determinación, se tiene en cuenta la no infiltración del agua de escorrentía, de la que se evapotranspira y de la que se mueve lateralmente.

Al agua subterránea la encontramos en cuatro zonas: 1) Zona no saturada que está cerca de la superficie, en la que únicamente los poros más pequeños se encuentran saturados de agua. 2) Zona media, comprendida entre la parte inferior de la zona no saturada y la parte superior de la zona capilar. 3) Zona capilar, ubicada desde el nivel estático hasta la altura definida por el ascenso capilar del agua a través del suelo, y 4) Zona saturada, en la que los poros se encuentran totalmente llenos de agua (Bundschuh *et al.*, 2008).

Villegas (2013), manifiesta que para conocer la dinámica que se da en las aguas subterráneas, es necesario identificar zonas acuíferas en el área investigada y conocer sus más importantes propiedades, geométricas como hidráulicas, orientaciones de flujos, orígenes de alimentación, calidad y constitución físico química, su vínculo con las aguas superficiales; lo que forman parte del modelo hidrogeológico conceptual de la zona investigada, siendo necesario su establecimiento para determinar su calidad, la regulación de su uso y establecer su dinámica, siendo necesario comprender los aspectos más importantes, como los hidrometeorológicos, los fisiográficos, los morfológicos, los geológicos y los antrópicos de todo el sistema, lo que permite conocer las influencias entre los componentes, pronosticando funcionamientos en varios escenarios, proporcionando con ello instrumentos para gestionar los recursos naturales, evaluando tanto la oferta como la demanda de agua, con las que se define su disponibilidad.

Según Shiklomanov (1999), citados en Caraballo & Montaña (2012), manifiesta que “A nivel mundial, describiendo la circulación y distribución del agua, en nuestro planeta, en base a la interpretación del ciclo hidrológico, se afirma que la cantidad total de agua en el planeta es de 1 386 millones de kilómetros cúbicos de agua, de la cual el 97.5 % es agua salada y el 2.5% restante es agua dulce, de esta cantidad el 68.7% está en forma de hielo y de nieve permanente, por lo que no

está disponible en forma directa, el 29.9% constituyen aguas subterráneas, y solo el 0.26% corresponde a agua dulce, la cual está en lagos, ríos y arroyos”. Lo manifestado demuestra que hay bastante agua disponible; y solamente una pequeña cantidad, se aprovecha en forma directa, sin cubrir las demandas de agua de la población en diferentes usos y actividades, siendo uno de ellos como fuente de alimentación de los sistemas que abastecen de agua potable, como es el caso de esta investigación.

1.2.2 A nivel nacional

Castillo (2017), efectuó el estudio geofísico para investigar la existencia de agua subterránea, estableciendo un modelamiento con tres dimensiones (3D), empleando la teoría de la sensibilidad magnética, en el fundo Buselcat, para ello uso tres puntos o estaciones, empleando el procedimiento geoelectrico de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), como también efectuó la tomografía eléctrica; complementando con la prospección magnética, obteniendo en los SEVs los siguientes resultados: en el SEV 1 y 3, cinco horizontes, habiéndose encontrando estrato húmedo, desde una profundidad de 26.5 m, determinándose en el SEV 2, valores de resistividad aparente alta, desde los 11.5 m, deduciéndose que eso es debido al contenido de arcillas secas o macizo rocoso en ese tramo.

Calcina (2017), señala que, para pronosticar como es la evolución de la concentración de arsénico dentro de un acuífero, se requiere saber las diversas formas de movilidad que dicho elemento tiene, el cual, como se comporta otro soluto, se mueve como reacción al movimiento de las aguas subterráneas y su correlación con las fases sólidas del acuífero.

Colquehuanca (2015), estableció que el objetivo de su investigación fue determinar y comprobar las propiedades hidrogeológicas en la zona evaluada, usando el método indirecto del Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), determinando que la más importante fue la fragilidad del acuífero, para ello realizó veinte SEVs, en el sector denominado Macuya, y evaluó simultáneamente 10 muestras de agua superficial que se vierten al río y de agua subterránea, con los resultados obtenidos, verifico que existían tres estratos u horizontes: un estrato semipermeable que constituye un acuitardo, un estrato permeable que constituye acuífero libre y semi-confinado y estrato totalmente impermeable que representa

un acuicludo; la longitud del espesor saturado variaba en una longitud de profundidad que va de 2 a 30 m aproximadamente, determinando que la dirección del flujo iba de nor-este a sur-este, deduciendo que el riesgo por vulnerabilidad de las aguas subterráneas en el acuífero encontrado, era en el rango bajo a moderado grado.

En el contexto nacional, según PNUD (2009), señala que en nuestro país, la circulación y distribución del agua tienen particularidades que exige tomar acciones urgentes, a través del desarrollo de políticas y prácticas de uso de los recursos hídricos de acuerdo a dichas particularidades, efectuando la gestión del mismo, tanto en los superficiales como en los subterráneos, considerando a estos últimos muy importantes en la gestión general de nuestro país, considerándonos como un país con abundante agua, pese a que su territorio, es solo el 0,87 del área de la tierra, teniendo un total del 4,6% del agua superficial de toda la tierra, concluyéndose que el problema en cuanto al uso de la misma, no es por el sistema de dotación, es por la distribución territorial y por deficiencias en su gestión, siendo necesario conocer la disponibilidad de las aguas superficiales como de las aguas subterráneas aprovechables, en sus tres vertientes que tiene, lo cual solo se ha efectuado en la vertiente del Pacífico, pero no en la del atlántico ni en la del Titicaca, lo cual se resume en la tabla 6.

Tabla 6
Aguas superficiales y subterráneas aprovechables disponibles en el Perú

Vertiente	Población 2007 Habitantes	Extensión km ²	Agua				Cantidad % de cuencas hidrográficas
			Superficiales	Subterráneas	Total		
			hm ³	hm ³	hm ³		
Pacífico	17 101 600	279 689	34 291	2 739	37 030	1.8	62
Atlántico	9 188 482	956 751	1 998 405	-	1 998 405	97.7	84
Titicaca	1 138 533	48 775	10 174	-	10 174	0.5	13
Total	27 428 615	1 285 215	2 042 870	2 739	2 045 609	100	159

Fuente: PNUD (2009)

1.2.3 A nivel local

Apaza (2020), efectuó una evaluación en muestras de aguas subterráneas extraídas de pozos ubicadas en dos urbanizaciones de la ciudad de Juliaca, las cuales son Santa Adriana y Niño San Salvador, evaluando en dichas muestras concentraciones de arsénico, valor de dureza total, cantidad de coliformes termotolerantes y de *escherichia coli*; para cuyo análisis se empleó metodologías reguladas bajo normatividad APHA, AWWA, para luego usando software ArcGIS, elaborar mapas de disgregación de contaminantes, siendo entre los más importantes resultados obtenidos, las altas concentraciones de arsénico encontradas en las aguas subterráneas, toda vez que en todas las muestras analizadas se superaban el 0.010 mg/l, que es límite máximo permisible; encontrándose también la presencia de bacterias *escherichia coli* y de coliformes termotolerantes, en un 82% del total de muestras analizadas, presentando dureza en el 50% de esas muestras.

De la Cruz (2021), determino que factores fisicoquímicos: turbidez, pH, y conductividad eléctrica; metales pesados: arsénico (As), cadmio (Cd), hierro (Fe), manganeso (Mn) y plomo (Pb), encontrados en las muestras de aguas subterráneas analizadas, provenían de dos zonas acuíferas ubicadas en la parte media de



Juliaca, de un acuífero fisurado sedimentario y del acuífero poroso no consolidado, este análisis se efectuó para determinar su uso con fines poblacionales, realizándose en dos períodos: de estiaje en octubre del 2019 y de avenidas en marzo del 2020, recolectándose 12 muestras de aguas subterráneas para dicho análisis, 06 muestras por cada acuífero.

De dichos análisis, sus resultados mostraron que el valor del pH se encuentra dentro del valor permitido por la normatividad establecida en la Organización Mundial de la Salud (OMS), pero valores determinados sobre la turbidez y la conductividad eléctrica, sobrepasaban los límites máximos permisibles, y en lo referente al contenido de los metales pesados, como cadmio (Cd) y plomo (Pb), superaron grandemente los límites mínimos establecidos, teniendo promedios aritméticos de 47.25 y 1346.87 $\mu\text{g/l}$ respectivamente, asimismo obtuvo máximos valores de 0.30 mg de Fe /L y 0.99 mg de Mn /l; siendo el arsénico el que no alcanzo los 10 $\mu\text{g /l}$.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

Sabemos que, a nivel mundial, actualmente se vislumbra la guerra por el agua, debido a la escasez del mismo y que se viene presentando en todo el mundo, lo que se da principalmente por dos razones, cambio climático y la contaminación de la misma, que no permiten tenerla disponible y planificar su uso para fines vitales como las de uso poblacional, es en este contexto que en su informe mundial UNESCO (2022), señala que las aguas subterráneas constituyen aproximadamente el 99% del total del agua dulce en estado líquido, y están distribuidas en el planeta en forma desigual, proporcionando a las sociedades muchos beneficios sociales, económicos y medioambientales, indicando que la mitad del volumen de agua extraída se usa para fines poblacionales, y aun conociendo de ello, se gestiona mal e incluso se sobreexplota; siendo necesario considerar la necesidad de gestionarlas con adecuadamente.

El mismo informe indica que el índice global agregado de agotamiento de las reservas de aguas subterráneas es considerable, pues a principios de este siglo, se estimó un agotamiento entre 100 y 200 km³/año (15 y el 25% de las extracciones totales de agua subterránea), siendo necesario la gobernanza de las aguas subterráneas para posibilitar su gestión y planificación, implementando políticas con leyes y normativa nacional para regular el acceso a ellas. En algunas jurisdicciones, el uso del agua subterránea está reglamentada, al igual que el agua superficial, incluidos los ríos; ello se viene implementando en nuestro país a través de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), con más énfasis en las aguas superficiales, requiriéndose de esfuerzos

importantes para gestionarlas y utilizarlas de forma sostenible, resumiéndose todo ello en acciones que permitan hacer visible el recurso invisible como consideran a las aguas subterráneas.

En la región de Puno, en 1987 el programa Ampliación de la Frontera Agrícola y Tecnificación del Riego (AFATER, 1987) y a partir de 1988, Programa Nacional de Aguas Subterráneas y Tecnificación del Riego (PRONASTER), efectuaron una serie de investigaciones hidrogeológicas, para determinar la existencia de las aguas subterráneas, en zonas dentro de las cuencas del río Coata, Ilave, Lampa, Ramis y Cabanillas; y en base a los resultados obtenidos, se construyeron pozos tubulares para sistemas de riego por gravedad y por aspersión.

Posteriormente a ello, municipios y otras entidades públicas, en la última década a la fecha, han gestionado proyectos de saneamiento, y dentro de ellos están los sistemas de abastecimiento de agua potable cuya fuente de alimentación cada vez se orientan al uso de las aguas subterráneas, siendo requisito establecido por las entidades financieras estatales como el Programas de Saneamiento Rural (PNSR) en el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, acreditar la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo, bajo normas y dispositivos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), resumidas en la Resolución Jefatural 007-2015 J/ANA; que den la sostenibilidad de dichos sistemas, al garantizar el agua subterránea, tanto en cantidad como en calidad, lo que se determina en el estudio hidrogeológico respectivo; y es justamente en este estudio donde se presentan problemas al no ser efectuado adecuadamente, originando proyectos sin sostenibilidad, lo que a su vez origina inversiones mal efectuadas.

Es este contexto donde ubicamos la presente investigación, específicamente en 3 sectores del distrito de Pilcuyo: sector Sancuta, sector Quety y sector Barrio Alfonso Ugarte, en los que se requiere garantizar a través de la acreditación que otorga la ANA, en cantidad y calidad del agua subterránea, y considerarlas como fuente de alimentación de los sistemas de abastecimiento de agua potable; a través de estudios hidrogeológicos que emplea métodos indirectos de prospección geofísica en los referidos sectores, en donde se han efectuado 10 sondajes eléctricos verticales, se han perforado 6 pozos exploratorios y analizado un pozo tubular antiguo; para la toma de información y su respectivo procesamiento, cuyos resultados permitirán tomar

decisiones importantes en la construcción de los sistemas de abastecimiento de agua potable proyectados.

2.2 Enunciados del problema

Identificado el problema de investigación, lo resumimos- en las siguientes interrogantes:

2.2.1 Problema general

¿Cuál es la relación entre los valores de resistividad aparente de los suelos obtenidos mediante Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs) con la calidad en las aguas subterráneas encontradas en sectores Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte, ubicados en la cuenca del río Zapatilla?

2.2.2 Problemas específicos

1. ¿Qué relación existe entre los suelos o formaciones geológicas de los sectores de Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte ubicados en la cuenca del río Zapatilla y los valores de resistividad aparente determinados con Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs)?
2. ¿Qué relación existe entre la calidad de las aguas subterráneas de los sectores Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte ubicados en la cuenca del río Zapatilla y los valores de resistividad aparente obtenidas mediante los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs)?

2.3 Justificación

El agua en general, es vital primeramente para el consumo humano, para todas las actividades humanas y para la conservación de los ecosistemas; el nivel de vida de sus consumidores, dependen de su cantidad y calidad, es decir de su disponibilidad, tanto del agua superficial como subterránea; siendo esta última el caso de esta investigación, cuyo uso en últimos años se ha incrementado sustancial y exclusivamente para sistemas que abastecen de agua potable, ante el déficit del agua superficial, originados por diversas causas entre ellas la contaminación y concesión de uso agotado, como las principales.

Siendo el propósito de esta investigación contribuir a la determinación adecuada de las aguas subterráneas, los resultados obtenidos consideran varios aspectos; como en lo social y en el de la salud principalmente de los usuarios de los sistemas proyectados en los sectores de Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte, evitando extraer agua subterránea en condiciones inadecuadas de calidad, que impida gestionar dichos sistemas; en lo económico, al determinar la calidad del agua subterránea, definirá la necesidad de un tratamiento previo para su uso, que influye en la inversión a efectuar; en lo científico, los conocimientos adquiridos van a confirmar teorías que existe sobre el agua subterránea y su comportamiento geoquímico según las condiciones geológicas de los sectores evaluados; en lo científico, las relaciones determinadas justifican la utilidad del método empleado para determinar la existencia del agua subterránea en cantidad y calidad, permitiendo a los consultores que la investigan, a definir las con más precisión, evitando inversiones no duraderas ni sostenibles.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Evaluar la relación entre los valores de resistividad aparente de los suelos, obtenidos mediante sondajes eléctricos verticales con la calidad de las aguas subterráneas en los sectores Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte de la cuenca del río Zapatilla.

2.4.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la relación entre el tipo de suelo de los sectores de Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte ubicados en la cuenca del río Zapatilla con los valores de resistividad aparente obtenidos mediante los sondajes eléctricos verticales.
- b) Determinar la relación entre la calidad de las aguas subterráneas de los sectores Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte ubicados en la cuenca del río Zapatilla con los valores de resistividad aparente del tipo de suelo obtenidos mediante los sondajes eléctricos verticales.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Los valores de resistividad aparente de los suelos obtenidos mediante sondajes eléctricos verticales tienen relación con la calidad de las aguas subterráneas, en los sectores de Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte ubicados en la cuenca del río Zapatilla.

2.5.2 Hipótesis específicas

- a) Existe relación de los suelos en los sectores Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte de la cuenca del río Zapatilla y los valores de resistividad aparente determinados mediante los sondajes eléctricos verticales (SEVs).
- b) Existe relación entre la calidad del agua subterránea en los sectores Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte de la cuenca del río Zapatilla con los valores de resistividad aparente de los suelos determinados mediante los sondajes eléctricos verticales.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

3.1.1 Ubicación política

El lugar de estudio comprendió las áreas ubicadas en los Sectores, Sancuta: comunidades Sancuta, Sacari Peñalosa, Quispe Maquercota, Sacari Titicachi, Sacari Achacumi y Sarapi Arroyo; Quety: comunidades Pacco Cusullaca, Chuallacamani, Vilca Maquera y Quety y Alfonso Ugarte; todos ellos en el distrito de Pilcuyo, provincia del Collao, en la región de Puno.

El acceso hacia dicho lugar, desde Puno, es través de la carretera panamericana Puno – Desaguadero hasta el cruce a Pilcuyo luego de pasar Ilave, para continuar por vía asfaltada a la capital distrital y luego por caminos carrozables se llega a cada sector del lugar de estudio.

Políticamente el lugar de estudio se detalla en la tabla 7 y en la figura 4: M -1 Mapa de ubicación.

Tabla 7

Ubicación del lugar de estudio

Sector	Distrito	Provincia	Departamento
Alfonso Ugarte	Pilcuyo	El Collao	Puno
Sancuta	Pilcuyo	El Collao	Puno
Quety	Pilcuyo	El Collao	Puno

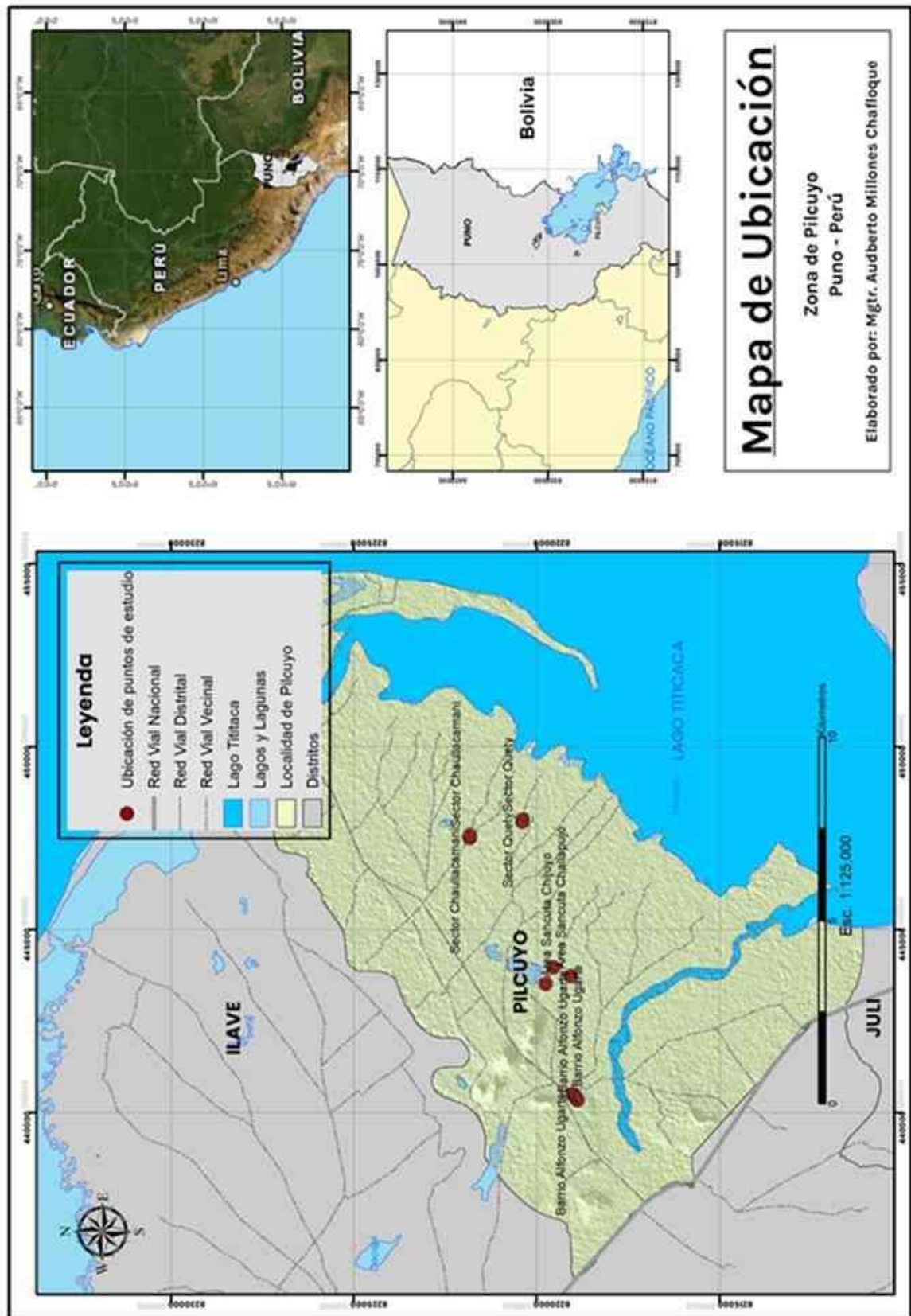


Figura 4. M – 1 Mapa de ubicación

3.1.2 Ubicación hidrográfica

El lugar de estudio, hidrográficamente se ubica en la margen izquierda de la zona baja en la cuenca hidrográfica del río Zapatilla, el cual desemboca en el lago Titicaca, y su superficie tiene una área de 329.8385 km² y un perímetro de 90.8337 km, la parte más alta tiene una cota de 4500 msnm y atraviesa los distritos de Ilave, Pilcuyo y Juli, y una cota de 3900 msnm en su parte más baja, cercana a su desembocadura en el Lago Titicaca; la forma natural que tiene la cuenca del río Zapatilla es la de una hoya hidrográfica de fondo plano, con una pendiente predominante de las quebradas y riachuelos que están en ella, que varía entre 0.076 % a 0.15 %, siendo el comportamiento fluviomorfológico de dicho río típico, con mayores valores de velocidades en la zona alta de la cuenca y velocidades menores en su zona baja, este detalle favorece al movimiento fluvial, lo que permite que sufra con poca frecuencia desbordamientos; cerca al río Zapatilla, cercana a la zona evaluada, existe una laguna, alimentada por aguas de escorrentía superficial y por precipitaciones, constituyendo una reserva hídrica considerable para ser aprovechada, estando ubicada en la margen izquierda del río Zapatilla (Intercuenca 157), cercana a su desembocadura, como se observa en la figura 5: M – 2 Mapa de unidades hidrográficas.

En dicha figura, podemos observar también que la zona de estudio, se ubica en la margen derecha del río Ilave, pudiendo ser influenciada por el comportamiento fluviomorfológico de dicho río, en cuanto a las recargas de flujo del agua subterráneamente, que transporta en casi todo el año, lo que deberá ser verificado a través de acciones como los aforos diferenciales, y definir si en dicho lugar del estudio, tiene un comportamiento de efluente que permiten dicha recarga.

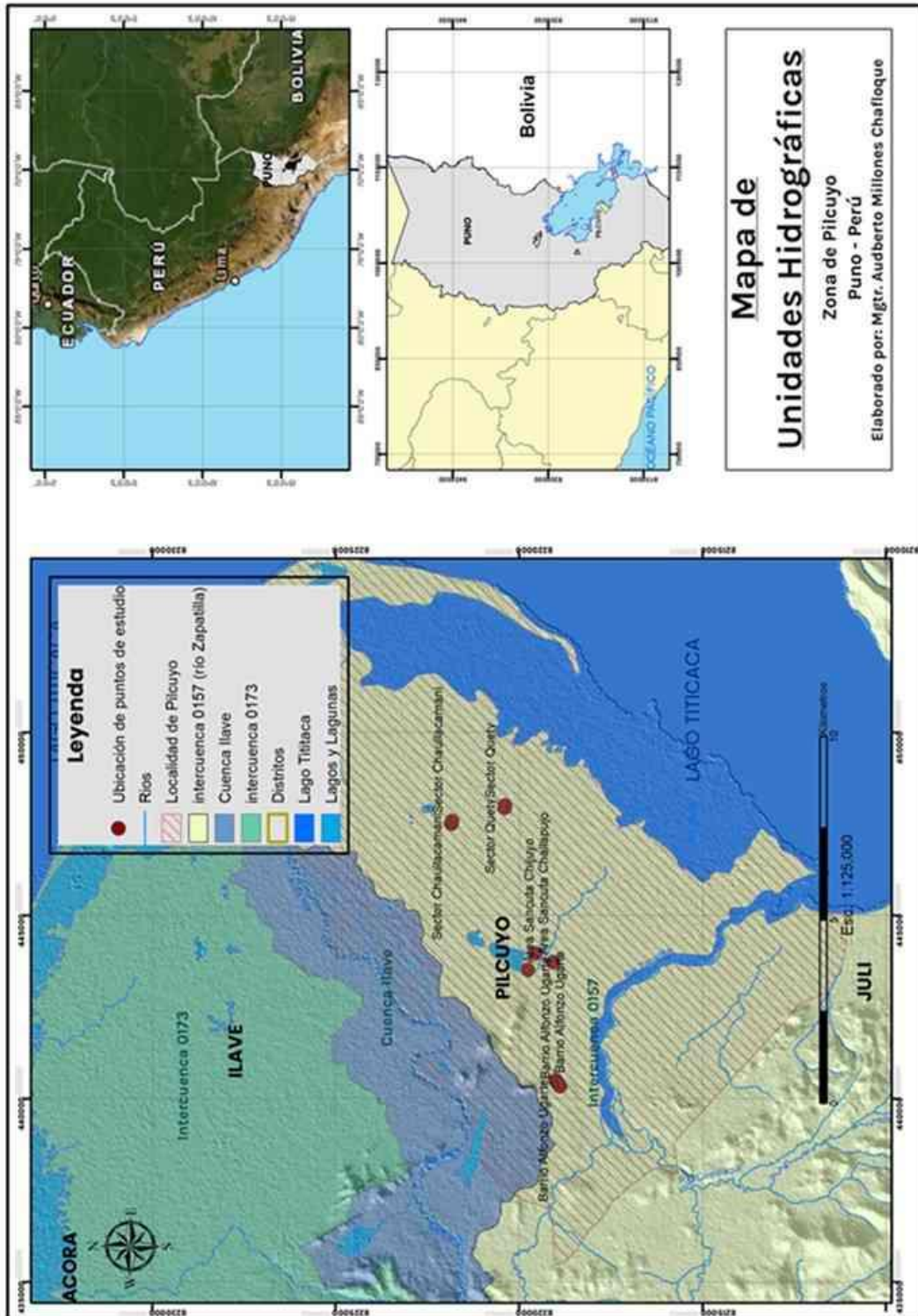


Figura 5. M – 2 Mapa de unidades hidrográficas

3.1.3 Ubicación hidrogeológica

Desde el punto de vista hidrogeológico en el lugar de estudio, los tres sectores Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte, están conformado mayormente por la formación geológica Neógeno cuaternario continental (NQ – c), constituida por conglomerados, lutitas, lodolitas, que forman acuíferos denominados locales o discontinuos, productivos, o extensos, únicamente moderadamente productivos, lo que le da características de acuífero poroso no consolidado media, como se observa en la figura 6: M – 3 Mapa de clasificación hidrogeológica.

Los conglomerados existentes en el lugar de estudio, están constituidos por rocas sedimentarias detríticas producto de los procesos de degradación por diversos agentes externos, como la erosión hídrica, térmica, etc., y están formadas por cantos redondeadas de otras rocas o fragmentos de otras rocas, guijarros y otros, unidas por material cementante, que puede ser calcáreo o silicio; en general los conglomerados pueden ser de dos tipos: uno con un alto grado de escogimiento de una litología limitada y poca matriz, encontrado en el lugar de estudio; y el otro con poco escogimiento, más heterogéneos en cuanto a su litología y abundante matriz.

Las lutitas que existen en el lugar de estudio, son en poca proporción, y están constituidas por depósitos de arcilla y limo, que representan detritos clásticos, haciendo disminuir la permeabilidad a los conglomerados existentes, disminuyendo su conductividad hidráulica, mayormente se presentan en zonas cercanas a la desembocadura del lago Titicaca.

Las lodolitas, al igual que las lutitas, están conformadas por arcilla y limo, con alto contenido de humedad, pero muy impermeabilizantes por el tamaño de sus poros que son muy pequeños, impidiendo la circulación del agua a través de ellos con bastante facilidad.

En conclusión, se podría afirmar que, en el lugar de estudio, predominando los conglomerados, pero existe presencia de material fino y por lo tanto impermeabilizante como las lutitas y lodolitas, conformadas por arcillas y limos, y en zonas cercanas a las orillas del lago, con presencia de algunos minerales, como el aluminio (Al), manganeso (Mn), fierro (Fe) y material orgánico.

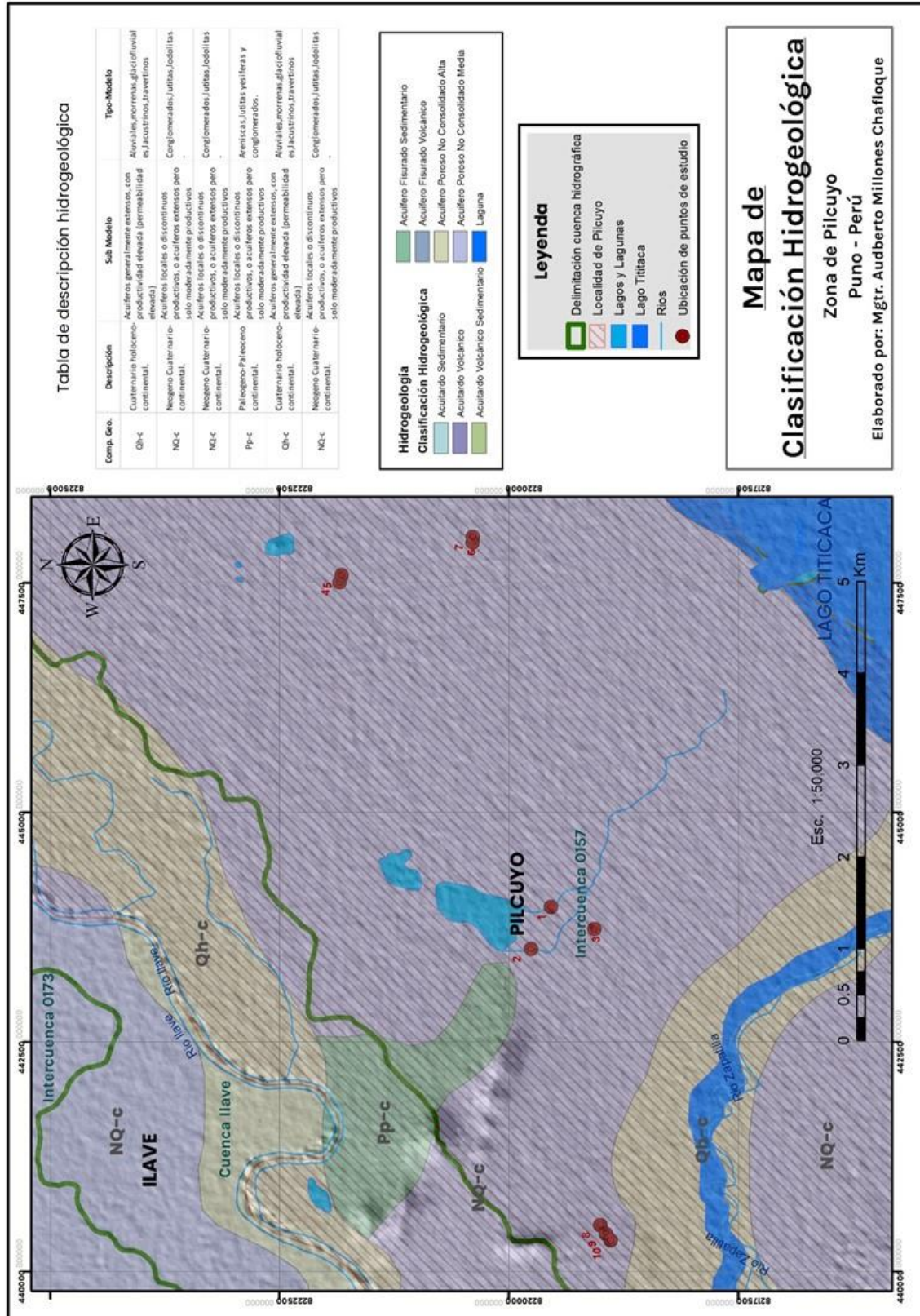


Figura 6. M – 3 Mapa de clasificación hidrogeológica

3.2 Población

Está constituida por los tipos de suelos, ordenados en estratos o unidades litoestratigráficas por donde circula el agua subterránea, en el lugar de estudio de los sectores de Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte, ubicados en la cuenca del río Zapatilla, mostrados en la figura 6. M-3 Mapa de clasificación hidrogeológica.

3.3 Muestra

La muestra evaluada, estuvo constituida por 10 puntos, en los cuales se efectuaron 10 Sondajes Eléctricos Verticales (SEV), uno en cada punto, obteniéndose valores de resistividad aparente a diferentes profundidades; y por 7 muestras de aguas subterráneas extraídas de 6 pozos exploratorios perforados y de 1 pozo existente, representativos de los sectores evaluados, a las cuales se les efectuó el análisis fisicoquímico y bacteriológico respectivo.

3.4 Método de investigación

El tipo de investigación a desarrollar, es cuantitativo explorativo de grado cuasi-experimental presentando un nivel de diseño correlacional con metodología inductiva y un enfoque científico.

Las variables e indicadores que se presentan para la presente investigación se dividen en:

- Variable Independiente: Se trata de los suelos en específico de las formaciones geológicas presentando como indicador las formas y estructuras geológicas que se presentan en la zona estas se representan con abreviaturas ya que son adimensionales.
- Variable Dependiente: se presenta en la calidad de agua con los indicadores de calidad de agua y su nivel es si cumple o no cumple con los parámetros establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA); también la resistividad es otra variable dependiente ya que su indicador está representado por la Intensidad (I) y su rango numérico se representa en Voltios (V).

3.5 Descripción de metodología por objetivos específicos

3.5.1 Relación entre el tipo de suelo con los valores de resistividad aparente.

En la metodología definida, para determinar la relación entre las variables suelos o formaciones geológicas con los valores de resistividad aparente obtenida en los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), se desarrollaron los siguientes procedimientos:

3.5.1.1 Caracterización geológica y geomorfológica: Geología local

Se desarrolló la geología local de las formaciones geológicas de la zona de estudio, toda vez que su conocimiento pleno, es muy importante para tomar criterios, en la interpretación de resultados de valores de resistividad aparente, obtenidos de los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), lo que va a permitir establecer la relación entre dichas variables, pues con el conocimiento de la geología local se interpretó las resistividades aparentes, definiéndose con dicho proceso la litologías de los suelos o formaciones geológicas a diferentes profundidades, orientándonos a la interpretación hidrogeológica de las mismas, sabiendo de que el medio geológico, representado por los tipos de suelos, es el espacio donde se ejecutó los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), toda vez que el conocimiento y razonamiento geológico es una continua prueba de cualquier modelo geofísico.

3.5.1.2 Prospección geofísica

La prospección geofísica se realizó usando el método eléctrico que mide la resistividad eléctrica, aplicando corriente eléctrica continua o permanente en la ejecución de los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), empleando una configuración de los electrodos de alimentación A y B; y receptores M y N, según Fonseca, (2018), determinando a través de cálculos e interpretación valores de resistividad aparente, y con ellos las características de la estructura litológica en el suelo, definiéndose si parte de ella, representan acuífero, que son formaciones geológicas permeables con contenido de agua subterránea, para ser considerada como fuente de alimentación de proyectos de saneamiento.

Con los valores de resistividades aparentes obtenidos en la ejecución de los Sondajes Eléctricos Verticales) SEVs, se estableció fundamentalmente lo siguiente:

- Diferenciación de los estratos u horizontes litológicos encontrados, contrastándolos geo eléctricamente con valores de resistividad aparente, obtenidos en los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs).
- Ubicación vertical y espesor de los estratos u horizontes según el suelo o formación geológica existente en el área evaluada, identificando zonas con formaciones geológicas, con características de acuífero que contienen agua subterránea.

El fundamento y el proceso de ejecución de los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), se describen a continuación:

3.5.1.3 Fundamentos de la prospección geofísica

La prospección geofísica, mediante la realización de Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), es una herramienta técnica con la que se obtienen valores de resistividad aparente, a profundidad según tipo de suelo, los cuales debidamente interpretados nos definen en forma indirecta la existencia de estructuras litológicas y/o geológicas con presencia de agua subterránea, en las zonas investigadas.

Se basa en mediciones instrumentadas de las variaciones de resistividades aparente, a profundidad en los tipos de suelos en las zonas investigadas, cuyos valores son representadas en columna litológica vertical por cada sondaje eléctrico vertical realizado, verificándose en ella, que los materiales presentan resistividades de acuerdo a sus condiciones naturales, lo cual se obtiene de un proceso de interpretación con tablas, software y experiencia práctica.

Dicho procedimiento, permite la localización de estructuras geológicas debajo de la superficie a diferentes profundidades, por la diferenciación en sus valores típicos de resistividades aparentes, requiriéndose conocer previamente, las características geológicas del área investigada, para la toma de criterios en la correlación de la información de resistividades aparentes,

obtenidas con los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), con los cuales por su capacidad resolutive permiten investigar profundidades de centenares de metros.

3.5.1.4 Procedimiento del levantamiento

Existen diversos procedimientos para la realización de los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), en la presente investigación, por las características del terreno se empleó la configuración de práctica de tendido, según metodología de Schlumberger, lineal-simétrico de electrodos, mostrado en la Figura 7.

Las líneas de corriente producidas a través de los electrodos A–B, a través de los cuales se inyecta corriente eléctrica continua, alcanzan niveles más profundos a medida que estos se separan, respecto al punto central del estudio “O”, mientras los electrodos M–N, que son los receptores de dicha corriente eléctrica, de medida permanecen fijos de acuerdo al arreglo del dispositivo. Por lo tanto, la profundidad a investigar está en función de la longitud del arreglo anterior, como de las características del terreno.

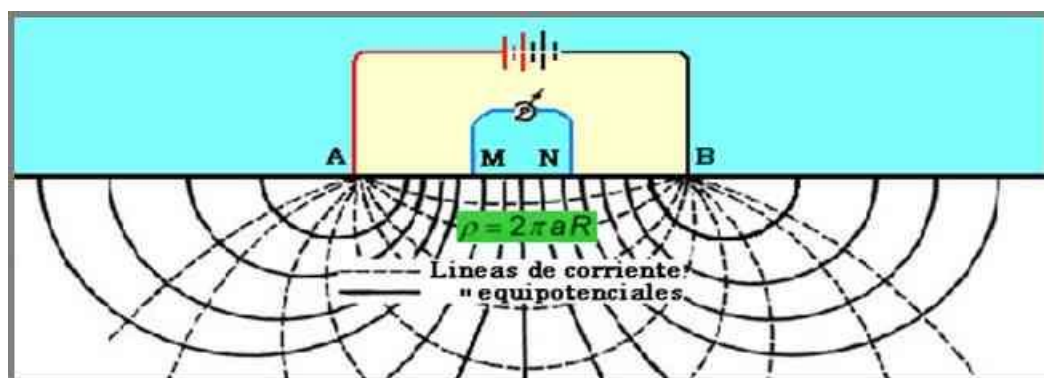


Figura 7. Disposición de Schlumberger simétrico

A través del Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) se efectúan mediciones de la resistividad eléctrica a distintas profundidades en sentido vertical desde la superficie de terreno, a través de equipo instrumental Geofísico y accesorios.

En el procedimiento se inyecta corriente eléctrica continua con una intensidad de corriente adecuada, posibilitando lecturas relacionadas con la

señal de ruido aceptable, la fuente fluye del transmisor circulando por una línea de conducción A–B, cerrando el circuito eléctrico a través del suelo, provocando un campo eléctrico en el suelo que se mide en miliamperios (mA). Dos electrodos M–N se ponen en contacto con la superficie de terreno equidistantes al punto central “0” (punto estación estudio) midiendo la diferencia de potencial entre ellos, el valor se obtiene con el receptor en milivoltios (mV).

La distancia entre los dos electrodos receptores, que miden el voltaje o la diferencia de potencial M–N es constante; variando solo la distancia entre los dos electrodos AB por donde se inyecta corriente eléctrica continua, la que aumenta progresivamente la profundidad de investigación al separar cada vez más dichos electrodos del circuito de inyección de corriente. Los valores de resistividad se anotan en formato ya establecido, y con esa información se calcula la resistividad aparente (ρ_a), usando la relación señalada más adelante para luego graficar en coordenadas bilogarítmicas y obtener la gráfica de curva del SEV efectuado. La relación o ecuación usada es la siguiente:

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

En la que:

ρ_a = Representa resistividad aparente del suelo (ohmio-metro: ohm-m)

Δv = Voltaje o diferencia de potencial en milivoltios (mV)

I = Cantidad de carga o intensidad de la corriente en miliamperios (mA)

K = Constante geométrica dependiente de la separación electrodos, expresada en metros (m).

3.5.1.5 Ubicación de los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs)

Se establecieron tres sectores para la presente investigación, en cada sector considerado, se ejecutaron un número determinado de Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), así se tiene que en el sector de Sancuta, se ejecutaron 3

SEVs, en el sector Chaullacamani 4 SEVs y el sector Barrio Alfonso Ugarte 3 SEVs, todos ellos referenciadas con el sistema UTM (Datum WGS 84), y se en muestran en la tabla 8. Las ubicaciones de dichos SEVs, se presentan en la figura 4.

Tabla 8.

Ubicación UTM de los sondajes eléctricos verticales

Ubicación UTM de sondajes eléctricos verticales				
Sector	SEV N°	Este	Norte	Localización
Sancuta, Chijuyo	1	443 974	8 219 543	Sector Sancuta, Chijuyo
Puente				
Challapujo	2	443 518	8 219 760	Sector Sancuta, Chijuyo
	3	443 733	8 219 067	Sector Sancuta Challapujo
Chaullacamani, Quety	4	447 510	8 221 845	Sector Chaullacamani
	5	447 588	8 221 825	Sector Chaullacamani
	6	447 945	8 220 398	Sector Quety
	7	448 007	8 220 392	Sector Quety
Alfonso Ugarte	8	440 511	8 219 007	Sector Alfonso Ugarte
	9	440 417	8 218 942	Sector Alfonso Ugarte
	10	440 344	8 218 891	Sector Alfonso Ugarte

3.5.1.6 Tratamiento cuantitativo e interpretación de resultados.

Para el tratamiento cuantitativo en cada Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) ejecutado, en la interpretación para obtener los resultados de resistividades aparentes, se usó el software IPI2WIN, desarrollado por el departamento de Geofísica de la Facultad de Geología en la Universidad Estatal de Moscú, el cual requiere una selección anticipada de un modelo geoelectrico adaptado a los valores de resistividad medidos, que luego de un proceso reiterativo, permite obtener un modelo especulativo que conserva el menor error probable para obtener la curva obtenida en el campo, mostrando una interpretación mecánica de la misma. Este procedimiento permitió la

determinación de los parámetros geoelectricos debidamente interpretados, para los diferentes horizontes identificados en niveles del subsuelo en las zonas investigadas. Dichos parámetros son los valores en resistividad aparente (ρ_a) en ohm-m, y del espesor en los estratos (E) en metros en el espacio vertical. Las interpretaciones se plasmaron en sus respectivas figuras, en las que se mostró las Curvas de Resistividades aparentes obtenidas por cada sector evaluado y en cada SEV, debidamente procesadas e interpretadas con el Software IPI2WIN.

3.5.1.7 Representación de los datos interpretados

Con valores de resistividad aparente obtenidos en los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs) debidamente interpretados, se elaboró las columnas geoelectricas puntuales esquematizadas en forma individual para cada sondaje eléctrico vertical (SEV), elaborando también secciones geo-eléctricas para cada sector, las que fueron interpretadas con criterio hidrogeológico. En la representación de las columnas geo-eléctricas, los parámetros están indicados a los lados de línea vertical investigada, correspondiendo el valor de la izquierda al de las resistividades en ohm-m y el de la derecha, los espesores de estratos en metros.

3.5.2. Relación entre los valores de la resistividad aparente de los suelos y los valores de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos

Los procesos comprendidos dentro de la metodología establecida, para determinar la relación entre la resistividad aparente de los suelos obtenida con los sondajes eléctricos verticales(SEVs) y los valores de los resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas subterráneas, fueron los siguientes:

3.5.2.1 Perforación de pozos exploratorios

Se realizaron pozos exploratorios, denominados también piezómetros, constituyen componente importante para la investigación que permita determinar la existencia de las aguas subterráneas; por lo que su construcción es necesaria para validar la información obtenida por métodos de exploración indirecta y lo más importante para extraer muestras de agua subterránea, y así realizar sus respectivos análisis fisicoquímicos para poder

determinar la relación entre valores de resistividad aparente con los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológico de las aguas subterráneas.

3.5.2.2 Caracterización hidrogeoquímica

El origen, proceso y evolución de la composición del agua almacenada en unidades hidrogeológicas denominadas acuíferos, para nuestra investigación se resume en la hidrogeoquímica, que tiene herramientas básicas para realizar el análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua para determinar su calidad y ser usada en los sistemas que abastecen agua potable; lo cual se efectúa en laboratorios debidamente acreditados por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), base en protocolos establecidos para ello, en muestras de agua extraídas de los pozos exploratorios, los valores de los análisis fisicoquímico y bacteriológico efectuados al agua subterránea extraída, se relacionaron con los valores de resistividad aparente encontrados.

El análisis físico y químico realizado a cada muestra de agua, extraídas de cada pozo exploratorio, ejecutados en las zonas del estudio se realizaron en laboratorios BhiOS en Arequipa, acreditado por INACAL (Instituto Nacional de Calidad). De cada pozo exploratorio, se extrajeron muestras de agua, en un total de 3600 ml: 01 un envase de vidrio de 1000 ml, y otro de 500 ml para el análisis microbiológico, 01 envase de polietileno de 1000 ml, 02 envases de polietileno de 500 ml cada uno y 01 envase de 100 ml para los análisis físico químicos.

El muestreo se realizó en los pozos exploratorios construidos en la zona de estudio, en un total de 6 pozos exploratorios y se consideró la muestra de un pozo tubular existente, la ubicación de ellos, se muestra en la tabla 9: Ubicación de pozos exploratorios en el lugar del estudio:

Tabla 9

Ubicación de los pozos exploratorios en el área investigada

Ubicación		Coordenadas y altitud		
Sector	N° y denominación	Norte	Este	Altitud (msnm)
1.-Sancuta	1.Chacya Pujo	8 219 100	443 707	3 820
	2. Fuño Thiza	8 219 525	443 952	3 828
	3.- Chijuyo Pampa	8 219 810	443 515	3 824
2.- Quety	4.- Quety	8 220 398	447 945	3 823
	5.-Chaullocamani	8 221 845	447 510	3 821
3.- Alfonso Ugarte	6.- Exploratorio	8 218 894	440 369	3 820
	7.- Antiguo	8 219 009	440 490	3 829

3.5.2.3 Análisis efectuados

Los análisis fisicoquímicos y bacteriológico para definir la calidad de las aguas subterráneas, para definir su calidad, fueron efectuadas a muestras de agua extraídas de 7 pozos exploratorios, indicados en el cuadro 1: Ubicación de los pozos exploratorios en el lugar de estudio, clasificándoseles en 6 grupos:

- **Análisis fisicoquímicos:** conductividad, pH, turbidez, color, dureza total y total de sólidos disueltos.
- **Análisis organolépticos:** olor
- **Análisis con cromatografía:** aniones por cromatografía (cloruros, nitratos, nitritos y sulfatos).
- **Análisis de metales totales:** aluminio (Al), antimonio (Sb), arsénico (As), bario (Ba), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), fierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plomo (Pb), selenio (Se), sodio (Na) y zinc (Zn).
- **Análisis microbiológicos:** Recuento de Bacterias Heterotróficas, Numero de coliformes fecales, numeración de coliformes totales, numero de *escherichia coli*, huevos y larvas de helmintos, quistes de protozoarios patógenos.

- **Análisis de organismos de vida libre (OVL):** como algas, copépodos, nemátodos en sus estados evolutivos, protozoarios y rotíferos.

De estos grupos solo se toma en cuenta los análisis fisicoquímicos, por cromatografía y de metales totales debido a que estos factores son los que muestran de manera directa la calidad de agua y estos pueden generar alguna relación directa con los sondajes eléctricos verticales.

En este estudio también se realizó interpretación de datos derivados del análisis fisicoquímico, es por ello que para realizar una serie de diagramas se utilizó el software Aquachem de los cuales se realizó:

3.5.2.4 Diagrama de Piper

Diagrama que permite mostrar la variación hidroquímica del agua estableciendo directamente la clase de agua relacionado a las apariencias hidroquímicas.

Es uno de los diagramas más usados, representa aniones y cationes en forma simultánea, permitiendo mostrar muchos análisis sin confusión, lo cual es una de sus mayores ventajas. Las aguas geoquímicamente parecidas se dividen en grupos claramente definidos (Custodio & Llamas, 1976).

Consiste en dos triángulos equiláteros que representan a la mayoría de cationes y aniones, representándose en los vértices del triángulo catiónico al calcio (Ca^{2+}), manganeso (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+) y en los vértices del triángulo aniónico a sulfatos (SO_4^{-2}), cloruros (Cl) y bicarbonatos (HCO_3^-). Los valores obtenidos en los diagramas triangulares se trazan en el rombo central que representa la composición del agua derivada de aniones y cationes.

Concentraciones de iones expresadas en meq/l se representan en porcentaje de la suma de aniones y cationes, encontrándose en cada triángulo solo tres aniones y tres cationes, correspondiendo a cada vértice del triángulo el 100% de anión o catión como se observa en la figura 8.

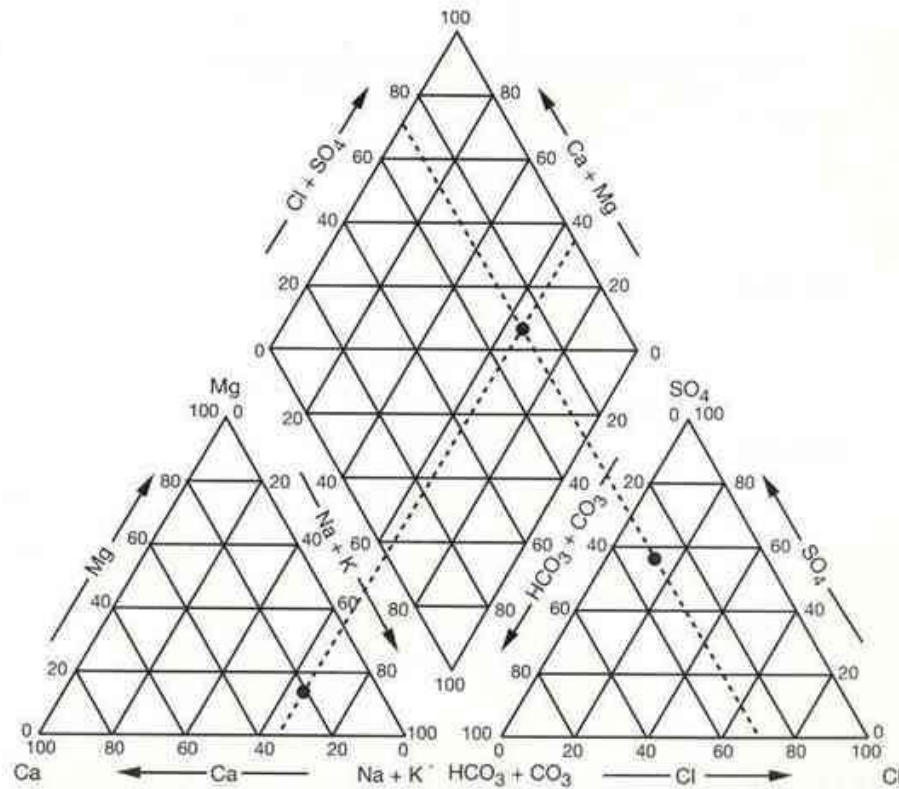


Figura 8. Diagrama de Piper (Agua y SIG 2011)

3.5.2.5. Diagrama de Durov

El gráfico trilineal de Durov se basa en el porcentaje de mili equivalentes de iones principales. Los valores de cationes y aniones se trazan en dos gráficos triangulares separados y los puntos de datos se proyectan en una cuadrícula cuadrada en la base de cada triángulo.

Los cationes especifican los parámetros del triángulo izquierdo. Los ajustes predeterminados son los cationes principales Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , sin embargo, se puede seleccionar cualquier otro parámetro (por ejemplo, composición del gas, elementos traza, etc.). Los aniones generalmente especifican los parámetros para el triángulo superior.

Los ajustes predeterminados son los aniones principales Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- , sin embargo, se puede seleccionar cualquier otro parámetro.

Dado que los puntos de datos se proyectan a lo largo de la base del triángulo, que se encuentra perpendicular al tercer eje en cada triángulo, la información sobre la concentración del elemento del vértice (el tercer elemento) se pierde en la cuadrícula cuadrada.

Cambiar la orientación de los parámetros en ambos triángulos puede mejorar su capacidad para detectar grupos distintos. Además, el gráfico de Durov permite la comparación directa de otros dos parámetros de agua subterránea, típicamente pH y el total de sólidos disueltos (SDT). Esta gráfica es una alternativa a la gráfica de Piper (Pacheco, 2015) y se muestra en la figura 9

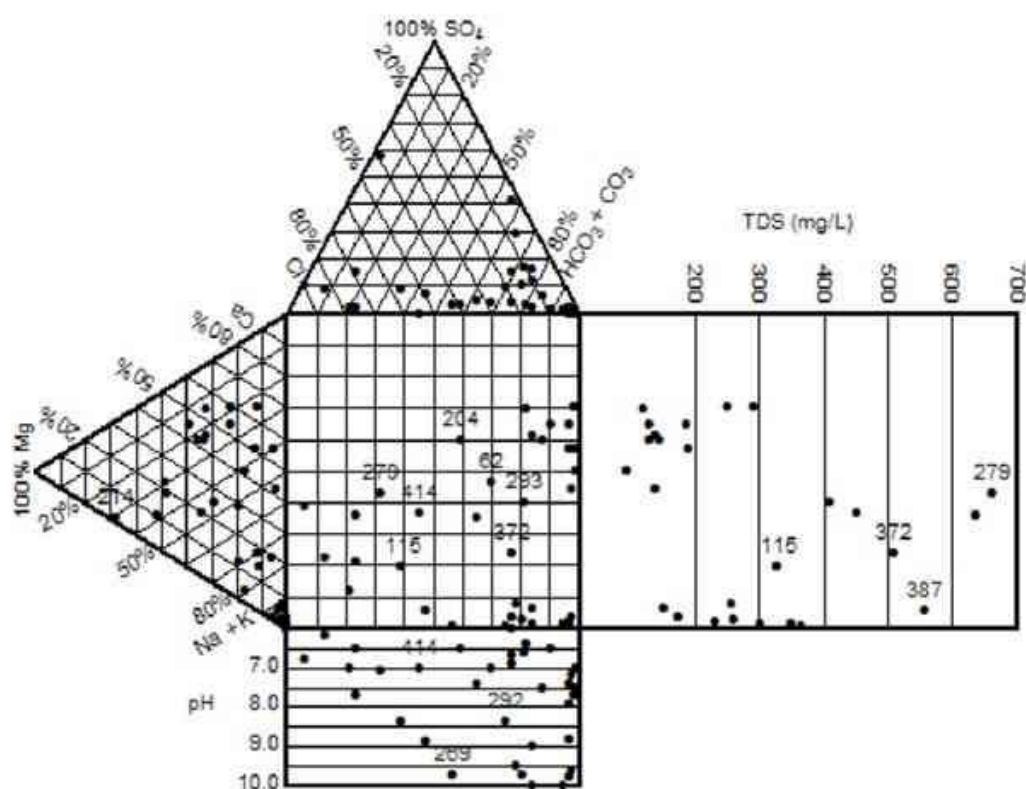


Figura 9. Diagrama de Durov

3.5.2.6 Tratamiento de los resultados de análisis fisicoquímicos

Para el tratamiento de los resultados de análisis físicos-químicos se procedió a agruparlos siguiendo el procedimiento del análisis de componentes principales (PCA) debiendo primeramente reclasificarlos de tal manera que permita un mejor análisis para el tratamiento de dichos valores.

La estimación de identificación del valor del análisis de componentes principales (PCA) disminuirá, toda vez que dichos valores serán comparados directamente con los obtenidos en el diagrama de Piper, estableciendo también la relación con los valores de resistividad aparente determinados en los sondajes eléctricos verticales (SEV); y con dichos resultados poder realizar el Análisis de componentes Principales (PCA), utilizando el programa SPSS que nos determinará la relación entre dichos valores obtenidos en el campo. Luego de contar con los datos estadísticos descriptivos determinaremos la matriz de correlaciones entre los valores encontrados del análisis físico químico.

3.5.2.7 Análisis de datos

Procesando la información obtenida de las variables establecidas en esta investigación, se usó el método de Análisis de Componentes Principales (PCA), que según Wold *et al.* (1987), constituye el fundamento de los análisis de datos multivariados, por lo que se considera una importante técnica multivariante propuesta a principios del siglo 20, aplicado primeramente en Ecología, a mitad del mismo denominándose análisis de factores (McCune & Grace, 2002). Por lo cual, es importante para obtener datos, específicamente como en forma general, debido a que el PCA convierte las variables que describen sus datos, en otras llamadas componentes, que son en sí factores o variables latentes, siendo las variables originales, combinaciones lineales estandarizadas y son ortogonales entre sí, como lo indica Ouyang (2005). Todo es representado en una matriz original de (m, n) datos.

Por lo explicado, el fin principal del análisis de componentes principales (PCA) es disminuir la matriz original (m, n) de X datos, integrada de m variables que representan a n objetos que, en el caso de esta investigación, son las siguientes variables consideradas:

- Formaciones geológicas \mathbf{a}
- Valores de resistividad aparente \mathbf{f}

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1s} \\ a_{21} & \cdots & a_{2s} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{ms} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f_{s1} & f_{s2} & \cdots & f_{sn} \end{pmatrix} \\ + \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{m1} & e_{m2} & \cdots & e_{mn} \end{pmatrix}$$

Siendo $X = a * f + e$

Donde:

X = Representa los datos obtenidos

a = Formaciones geológicas,

f = Valores de resistividad aparente, y

s = Número de factores ($s = m$)

Combinando linealmente los diversos componentes de la matriz a , como formaciones geológicas y valores de resistividad aparente f , se reproduce la matriz de X datos. Las nuevas causas resultantes forman variables reducidas, representando determinada cantidad de información de datos; que tiene en cuenta la variación en todas las funciones o variables que se miden en descenso en lugar de correlación (Zwanziger et al., 1997), lo que permite que sea factible disminuir el tamaño de m de los datos, obteniendo la mínima disminución de información, representado en la matriz residual e .

Concluyendo, según Zwanziger *et al.* (1997), manifiesta que el Análisis de Componentes Principales (PCA), mostrado gráficamente en la figura 10, otorga tendencia de los objetos a través de un espacio caracterizado por un gran tamaño a espacio establecido por algunos factores.

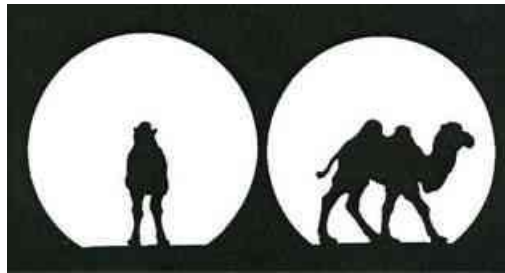


Figura 10. Análisis de componentes principales.

Kendall (1980), Cadima & Jolliffe (1995), investigadores que aplicaron el Análisis de Componentes Principales (PCA), señalan que la interpretación del nuevo eje de gestión, tiene parte de relatividad, sustentando esta afirmación, debido a que las herramientas de clasificación la usan mayormente como elementos de investigación de información, antes de centrarse en probar o refutar una suposición en un análisis determinado.

Estas afirmaciones, cualquiera sea la finalidad del Análisis de Componentes Principales (PCA), primera investigación sea asumir o negar una suposición; para otorgar un importante y preciso sentido de los nuevos componentes principales, siendo imprescindible detectar cuál de las variables, de las iniciales, se encuentran conectadas mayormente a estos, toda vez que la facultad de establecer correspondencias, minimizando la consecuencia de la variación al azar, va a ayudar fundamentalmente a la identificación de patrones de gran significado en la información, de manera tal que los resultados de clasificación en el Análisis de Componentes Principales (PCA) se entienden de la siguiente manera según Peres-neto *et al.* (2005):

- Proviene de datos propios recopilados del eje ordinal (nuevos componentes principales PC), que determinan cambios en los datos iniciales.
- Se establecen con vectores apropiados que contengan coeficientes que establecen relación entre la variable original y el nuevo eje ordinal, siendo conocidos como “Loadings”, que significa pesos.

Determinados investigadores, desarrollan los coeficientes de los vectores propios seleccionando arbitrariamente un valor (ejm.: 0.5) y así indicar su importancia o no.

Como conclusión, el análisis de componentes principales (PCA), se realizó a nivel de gabinete agrupando datos predefinidos, con el análisis entre promedios de grupo, y no los objetos bajo consideración, la puntuación del Análisis de Componentes Principales (PCA) utilizó un vector para determinar el producto con los datos sin procesar (Reisenhofer *et al.*, 1998).

3.5.2.8 El análisis de componentes principales (PCA), en la primera pregunta científica.

El Análisis de Componentes Principales (PCA), que se aplica a nivel de grupos de datos predefinidos en el gabinete; para los casos de este estudio se formaron grupos de acuerdo al factor índice biológico, definido como el más adecuado al dar respuesta a la primera pregunta científica, cumpliéndose el punto de vista de respuesta biológica exigido por la evolución humana, toda vez que el Análisis de componentes Principales (PCA), progresó más en los grupos de puntos de monitoreo, los cuales fueron descritos únicamente por factores físico – químicas, microbiológicas y geomorfológicas, pero limitadas en forma directa por el índice biótico.

Además, con este enfoque, las lagunas existentes en los datos disponibles para este estudio pierden su impacto, porque el Análisis de Componentes Principales (PCA) no se desarrolla con muy poco o muchos datos en el muestreo total, sino en grupos o categorías de calidad biológica del agua.

Bojsen & Barriga (2002) en su investigación en Ecuador, su aporte interesante, fue estimar los efectos que ocasionó la desertificación en zonas con cardúmenes en la amazonia del Ecuador. Las mediciones del Análisis de Componentes Principales (PCA) en la estructura de los cardúmenes, mostraron que seis variables ambientales (área del fondo del arroyo cubierta por follaje, área de estanque o estanque, materia orgánica particulada, profundidad, conductividad eléctrica y materia particulada suspendida promedio) se relacionaban con el eje de ordenación, la existencia de follaje relacionada con la cobertura del dosel, fue una variable bien relacionada con la estructura de los cardúmenes, y el área relativa del estanque fue la segunda variable más importante. Concluyéndose que la estructura de los cardúmenes está fuertemente influenciada por la desertificación.

3.5.2.9 Análisis de componentes principales (PCA), aplicación a la calidad de aguas superficiales (a nivel regional y global)

Como tecnología con una historia de más de 100 años, el Análisis de Componentes Principales (PCA), tiene una alta tasa de prevalencia en varias áreas de las ciencias exactas y en las ciencias naturales. Usado también en la gestión de los recursos hídricos superficiales, principalmente para reducir el espacio multidimensional de datos, en la descripción de variaciones espaciales y temporales de los parámetros de calidad del agua e identificación de variables subyacentes clave (Ouyang, 2005).

Domínguez-Granda *et al.* (2005), realizaron en Ecuador un importante estudio a nivel regional sobre la calidad del agua, en un sistema hidrológico (en este caso del río Chaguana) con el uso del Análisis de Componentes Principales (PCA), cuya finalidad fue determinar las relaciones entre los macro invertebrados acuáticos y las diferentes variables de características físico – químicas como los pesticidas, diferentes usos del suelo y elevaciones, al caracterizar las estaciones de muestreo, por sus variables ambientales, identificó un gradiente relacionado con la elevación, organizado principalmente por la acumulación de amonio en los sedimentos, por el ancho del río, por la conductividad y la temperatura del agua, la pendiente no mostró comportamiento alguno, al ser evaluada en relación con la secuencia del río, reaccionando parcialmente respecto a la utilización del suelo.

En una zona con características parecidas, Gallegos-Sánchez (2013), efectuó un significativo aporte al evaluar usando métodos de clasificación similar al Análisis de Componentes Principales (PCA), como es el Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA), que considera la influencia de los ríos en la vegetación macro bentónica, en la estructura trófica y en la estacionalidad climática en la comunidad de macrozoobentos en el lugar de la investigación, ubicado en las zonas altas del Ecuador (en el río Sambache, en el refugio de Vida Silvestre Pasochoa), aplicación este análisis, se comprobó que los parámetros más influyentes que sustentan la estructura de ensamblaje son la conductividad eléctrica y la cantidad de sólidos disueltos totales.

En todo el mundo, se han publicado indefinidamente artículos, donde el Análisis de Componentes Principales (PCA), se ha usado como técnica para investigar información de la calidad del agua superficial, habiendo adquirido propagación en el planeta, de ello tenemos las publicaciones de De Ceballos *et al.* (1998), quienes efectuaron una investigación en lagos, tres en total ubicados al noreste de Brasil, determinando que mediante el Análisis de Componentes Principales (PCA); la calidad del agua, lo definió 9 variables, agrupados en dos componentes principales.

Vega *et al.* (1998), en la investigación realizada, aplicaron el Análisis de Componentes Principales (PCA), con información recolectada del río Pisuerga, afluente del río del Duero, situado en la región centro norte de España, determinó menor número de circunstancias vigentes, entre ellos el volumen de minerales, actividades antrópicas y aspectos térmicos del agua.

Mustapha & Abdu (2012) en su investigación utilizaron el análisis de componentes principales (PCA), en la cuenca del río Jakara al noreste de Nigeria, para identificar fuentes de contaminación y cómo influyen en la variación espacial de la calidad del agua en el transcurrir del tiempo. Usando el Análisis de Componentes Principales (PCA), las variables más importantes que determinaron la calidad del agua en sus sistemas son la erosión, los residuos sólidos municipales, los impactos de la disolución y la escorrentía del agua en las áreas agrícolas.

Ouyang (2005), realizó también un trabajo importante usando Análisis de Componentes Principales (PCA), en el río St. Johns en la Florida, E.E.U.U., efectuando el análisis para estimar la importancia de las puntos de control en una red, instalados en la fuente de agua, según el cual se determinaron tres puntos de muestreo que son menos importantes para detectar cambios anuales en todo el conjunto de información sobre calidad del agua, y pueden ser descartados.

Los ejemplos del uso de Análisis de Componentes Principales (PCA) son relevantes en términos de calidad y ecología del agua, como lo realizado por López-Luna *et al.* (2012), quienes experimentaron con la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), analizando sus costumbres alimenticias, su incidencia en la calidad de agua, sugiriendo los factores como la totalidad de iones disueltos y hábitos alimenticios de los peces, sean considerados como las más importantes para permitir explicar la variación del sistema estudiado.

Entre esto, podemos señalar que actualmente se están publicando y generando innumerables trabajos considerando el uso del PCA y variables relacionadas con el tema de los recursos hídricos superficiales con su adecuada gestión y gobernanza.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Relación entre el tipo de suelo con los valores de resistividad aparente.

Los resultados obtenidos para el cumplir con el primer objetivo se detallan a continuación:

4.1.1 Tipos de suelos o formaciones geológicas en el lugar de estudio

El lugar de estudio, según el análisis geológico y geomorfológico, está constituido por terrenos llanos, con pendientes menores a 1%; encontrándose en la superficie altiplanicie mayormente formación sedimentaria (Ap-s) que se caracteriza por su baja pendiente o relieve predominantemente llano donde los procesos de agradación (acumulación de sedimentos), superan a los de degradación (erosión); también se encontró algunas zonas con superficies ligeramente elevadas con respecto de los terrenos circundantes, debido a los efectos de la erosión diferencial o por efecto tectónico, presentando ligera inclinación y conformado por secuencias de rocas sedimentarias.

Especificando el tipo de formaciones por sectores, en el sector Sancuta se encontró superficialmente la formación Azángaro (Qp – az3), sedimentaria formada por arcillita y arenisca de origen lacustre, y formación de depósitos aluviales (Qh – al), sedimentos formados de bloques de grava, arena con intercalaciones de limo y arcilla; en el sector Quety, se encontró más predominancia la formación Azángaro (Qp – az3) con depósitos aluviales (Qh – al) y en el sector Alfonso Ugarte, la presencia de la formación Azángaro (Qp – az3), cercano a la localidad de Pilcuyo, se encontró la formación Muñani (P – m3) y la formación del grupo Puno (p – pu2) conformadas por areniscas de color rojizo de grano grueso con intercalaciones de limoarcillitas, lo que visualiza en la figura 11: M - 4 Mapa Geológico del lugar de estudio.

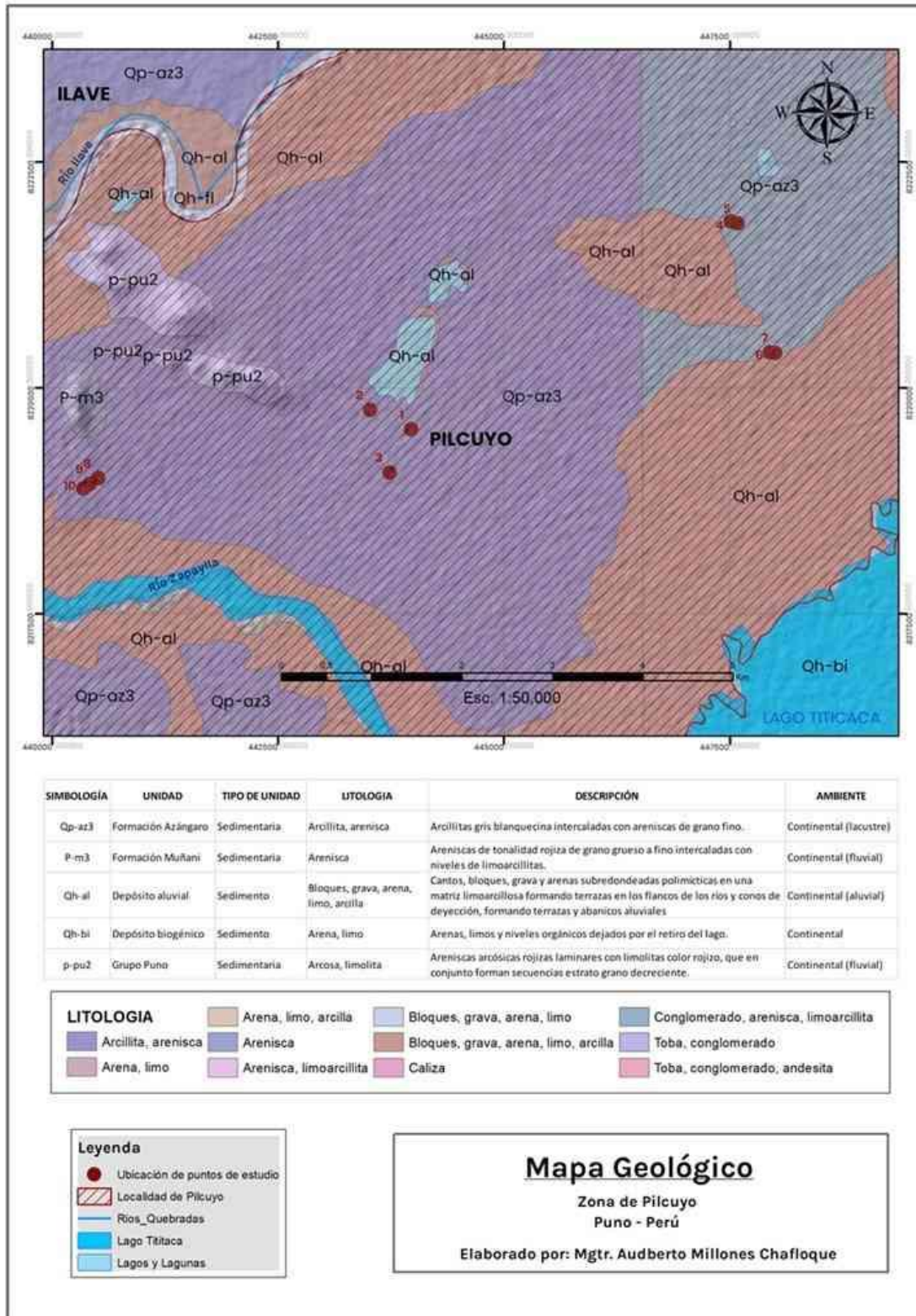


Figura 11. M – 4 Mapa Geológico del lugar de estudio

4.1.2 Valores determinados de resistividad aparente y espesor de estratos

Con valores de intensidad de corriente y de voltaje, obtenidos en la ejecución de SEVs y aplicando la ley de ohm se obtuvo primeramente valores de resistividad aparente, los luego de procesarlos con el Software IPI2WIN e interpretarlos adecuadamente en cada sondaje eléctrico vertical (SEV) realizado, se determinó los valores de resistividad aparente (ρ_a) en ohm-m y según esos valores, el espesor (E) de los estratos a profundidad en m, para los diferentes horizontes identificados en cada punto de la investigación, lo que se muestra en las figuras del 12 al 21, en las que por cada punto se r las curvas de resistividades aparentes, la columna litológica, la correlación litológica y la interpretación de dichos resultados.

4.1.3 Representación de datos interpretados

Con los valores de resistividad aparente que se obtuvo en los SEVs, debidamente interpretados, se confeccionó las columnas geo-eléctricas puntuales para cada punto, como también las secciones geo-eléctricas para cada sector, interpretadas con criterio hidrogeológico. Las columnas geo-eléctricas, fueron elaboradas en base a valores de resistividad aparente determinada a profundidad para cada estrato encontrado en cada punto donde se efectuó SEV, según lo explicado en las figuras 2 y 7, elaborándose un total de 10 columnas geo-eléctricas una para cada SEV, en ellas los parámetros están indicados a los lados de línea vertical investigada correspondiente, siendo los valores presentados en el lado izquierdo, el de las resistividades en ohm-m y los de la derecha, los espesores de estratos en metros, dichos resultados se describen y muestran a continuación:

4.1.3.1 Sector Sancuta

a) Sondaje eléctrico vertical 1: Sancuta Chijuyo Puente

Columna geoelectrica puntual SEV-1

De la interpretación de los valores de resistividades aparentes y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 1, en el sector Sancuta Chijuyo Puente; la que se muestra en la figura 12, y a partir de la cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H2: Horizonte a nivel superficial (trama verde) de resistividad 23.7 ohm-m que corresponde a sedimentos areno-limosos de espesor 3.77 metros.

H4: Horizonte en nivel intermedio (trama azul) de resistividad 49.4 ohm-m que se relaciona a sedimentos arenas medias y finas de espesor 30.12 metros. El valor óhmico interpreta al acuífero del área.

H5: Horizonte a nivel subyacente (trama roja) cuya resistividad 20.1 ohm-m se correlaciona a sedimentos finos limos arcillosos de espesor no determinado simbolizado por ¿? que significa continuidad a más profundidad en el alcance de penetración del estudio. Conformar el basamento. Se observa, que sobresale la columna vertical del horizonte H4 (trama azul) en su naturaleza litológica y presenta resistividad que indica una condición de textura granular permeable con posibilidad de presencia saturada de agua subterránea y viene a conformar el acuífero en la localización. En esta condición se constituye una columna aprovechable de 30.12 metros de espesor desde su contacto (3.77 metros).

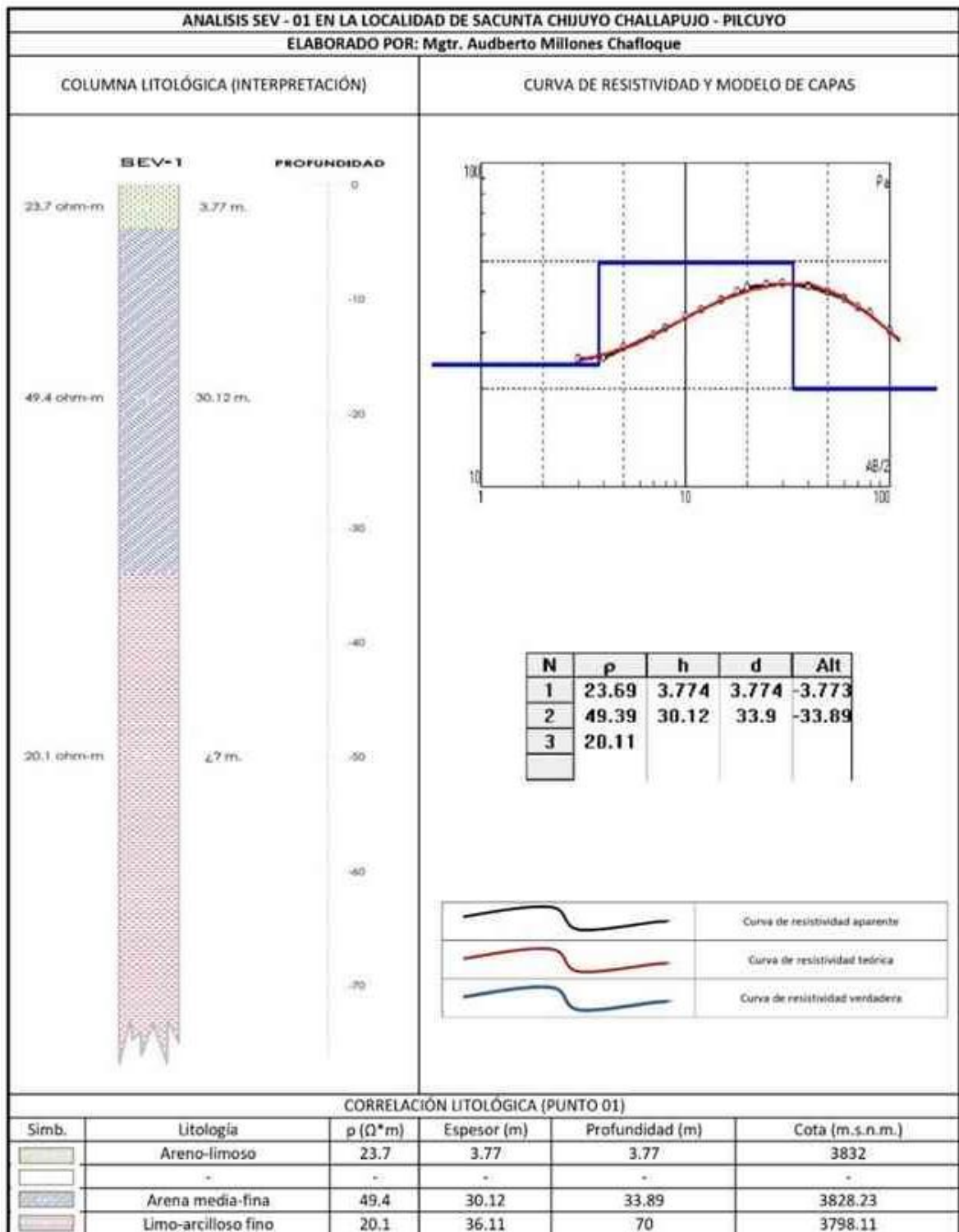


Figura 12. Interpretación de resultados en el SEV N° 1 Sancuta.

b) Sondaje eléctrico vertical 2: Sancuta Chijuyo

Columna geoelectrica Puntual 2

De la interpretación de los valores de resistividades y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 2, en el sector Sancuta Chijuyo; la que se muestra en la figura 13, y a partir de la cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H1: Horizonte a nivel superficial (trama naranja) de resistividad 15.7 ohm-m cuyo valor óhmico corresponde a sedimentos limos y arenas finas de espesor 1.8 metros.

H2: Horizonte en nivel sub superficial (trama verde) de resistividad 64.8 ohm-m que interpreta a sedimentos areno – limosos con espesor 2.33 metros.

H3: Horizonte a nivel inferior (trama naranja) de resistividad 16.9 ohm-m y su valor óhmico interpreta a sedimentos limos y arenas finas de espesor 5.35 metros.

H4: Horizonte en nivel intermedio (trama azul) de resistividad 97.7 ohm-m que se correlaciona a sedimentos arenas medias y gruesas de espesor 40.85 metros. El valor óhmico interpreta al acuífero del área.

H5: Horizonte a nivel subyacente (trama roja) cuya resistividad 4.5 ohm-m corresponde a sedimentos finos limos arcillosos de espesor no determinado simbolizado por interrogantes ¿?, que refiere continuidad a mayor profundidad en el alcance de penetración del estudio. Conformar el basamento.

Se observa que es relevante la geometría de la columna vertical del horizonte H4 (trama azul) en su naturaleza litológica interpretada y cuya resistividad indica una condición de textura granular permeable con posibilidad de presencia saturada de agua subterránea y viene a ser el acuífero en la localización. Este horizonte constituye una columna aprovechable del acuífero con 40.85 metros de espesor desde su contacto (9.49 metros).

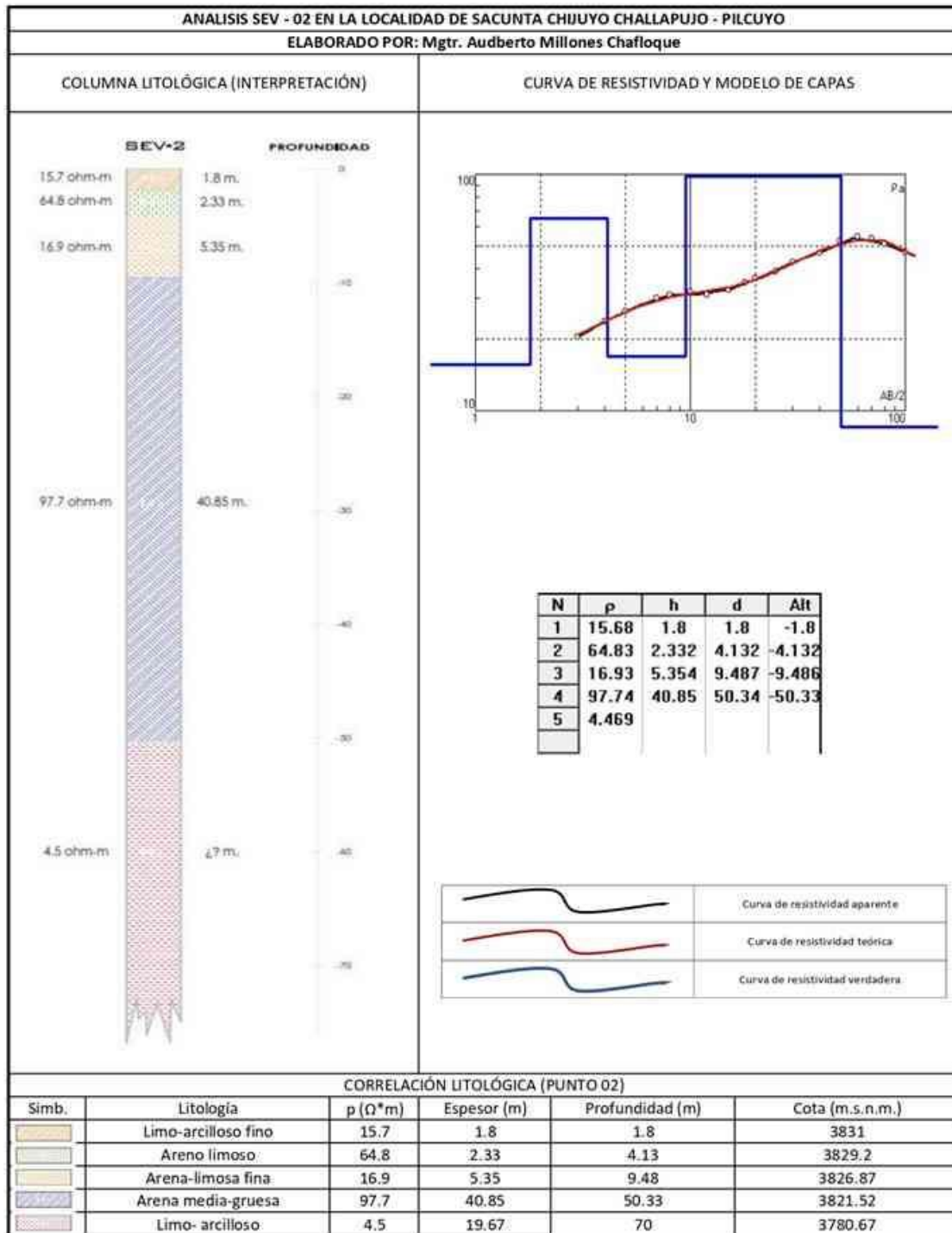


Figura 13. Interpretación de resultados en el SEV 2 Sancuta

c) Sondaje eléctrico vertical 3: Sancuta Chijuyo Challapujo

Columna geoelectrica puntual 3:

De la interpretación de los valores de resistividades y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 3, en el

sector Sancuta Chijuyo Challapujo; la que se muestra en la figura 14, y a partir de la cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H2: Horizonte en nivel superficial (trama verde) de resistividad 66 ohm-m que interpreta a sedimentos areno – limosos con espesor 1.8 metros.

H3: Horizonte a nivel sub superficial (trama naranja) de resistividad 12.5 ohm-m cuyo valor óhmico interpreta a sedimentos limos y arenas finas de espesor 2.33 metros.

H4: Horizonte en nivel intermedio (trama azul) de resistividad 78.6 ohm-m que corresponde a sedimentos arenas medias y gruesas de espesor 46.1 metros. El valor óhmico permite deducir el acuífero del área.

H5: Horizonte a nivel subyacente (trama roja) con resistividad 9.6 ohm-m y corresponde a sedimentos finos limos arcillosos de espesor no determinado simbolizado por ¿? que refiere continuidad a mayor profundidad en el alcance de penetración del estudio. Conformar el basamento.

Se observa que es relevante la geometría de la columna vertical del horizonte H4, igual que los anteriores, (trama azul) cuya resistividad de 78.6 ohm-m, indica una condición de textura granular permeable con posibilidad de presencia saturada de agua subterránea, representando el acuífero, una columna aprovechable de comportamiento acuífero con 46.1 metros de espesor desde su contacto (4.13 metros).

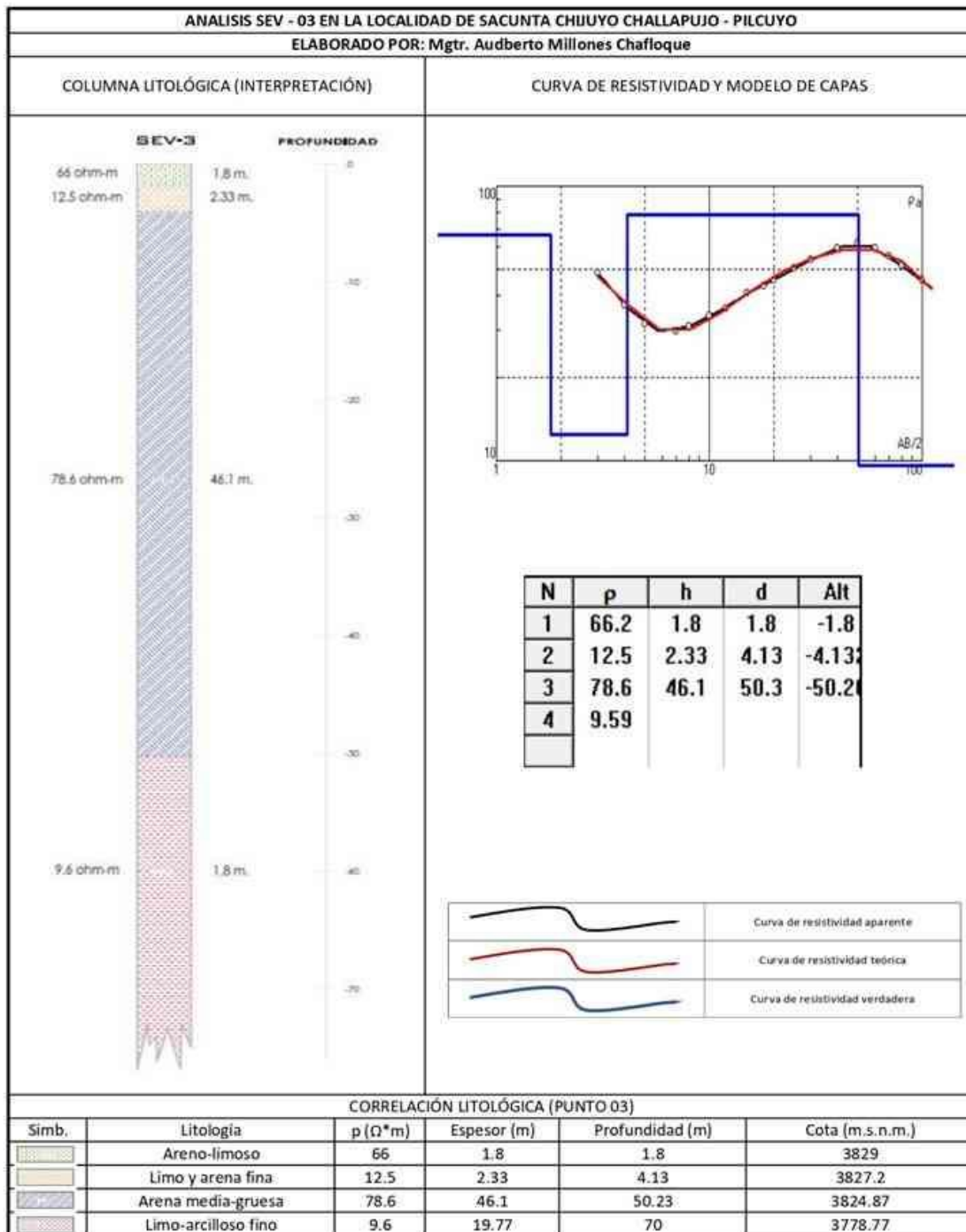


Figura 14. Interpretación de resultados en el SEV 3 Sancuta.

4.1.3.2 Sector Quety

a) Sondaje eléctrico vertical 4: Comunidad Chaullacamani Quety

Columna geoelectrica puntual 4

De la interpretación de los valores de resistividades y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 4, en la comunidad Chaullacamani Quety; la que se muestra en la figura 15, y a partir de la cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H1: Horizonte a nivel superficial (trama verde) de resistividad 135 ohm-m que representa arenas gruesas, gravillas y limos cuyo espesor alcanza 1.95 metros.

H2: Horizonte a nivel sub-superficial (trama verde) de resistividad 17 ohm-m que representa limos con arenas finas de espesor 2.1 metros.

H4: Horizonte en el nivel intermedio (trama azul) de resistividad 139 ohm-m cuyo valor óhmico representa gravillas, grava gruesa y arenas de espesor 39.1 metros, de estado saturado. Corresponde al acuífero favorable.

H5: Horizonte a nivel subyacente (trama naranja) Constituye la secuencia sub-yacente con resistividad 22 ohm-m que representa arenas finas con limos y arcillas de espesor no determinado simbolizado por ¿? m que se muestra con tendencia de continuidad en profundidad.

Se observa que es relevante la geometría de la columna vertical del horizonte H4 (trama azul), cuyo valor de resistividad 139 ohm-m y de 39.1 m de espesor, tipifica el comportamiento de acuífero favorable en la columna del subsuelo presentando las expectativas en la geometría de su extensión vertical con agua subterránea, lo que indica condiciones hidrogeológicas de interés. La disposición estratigráfica de Horizonte H5 (color naranja) es de composición litológica finas sin interés, constituye el basamento hidrogeológico.

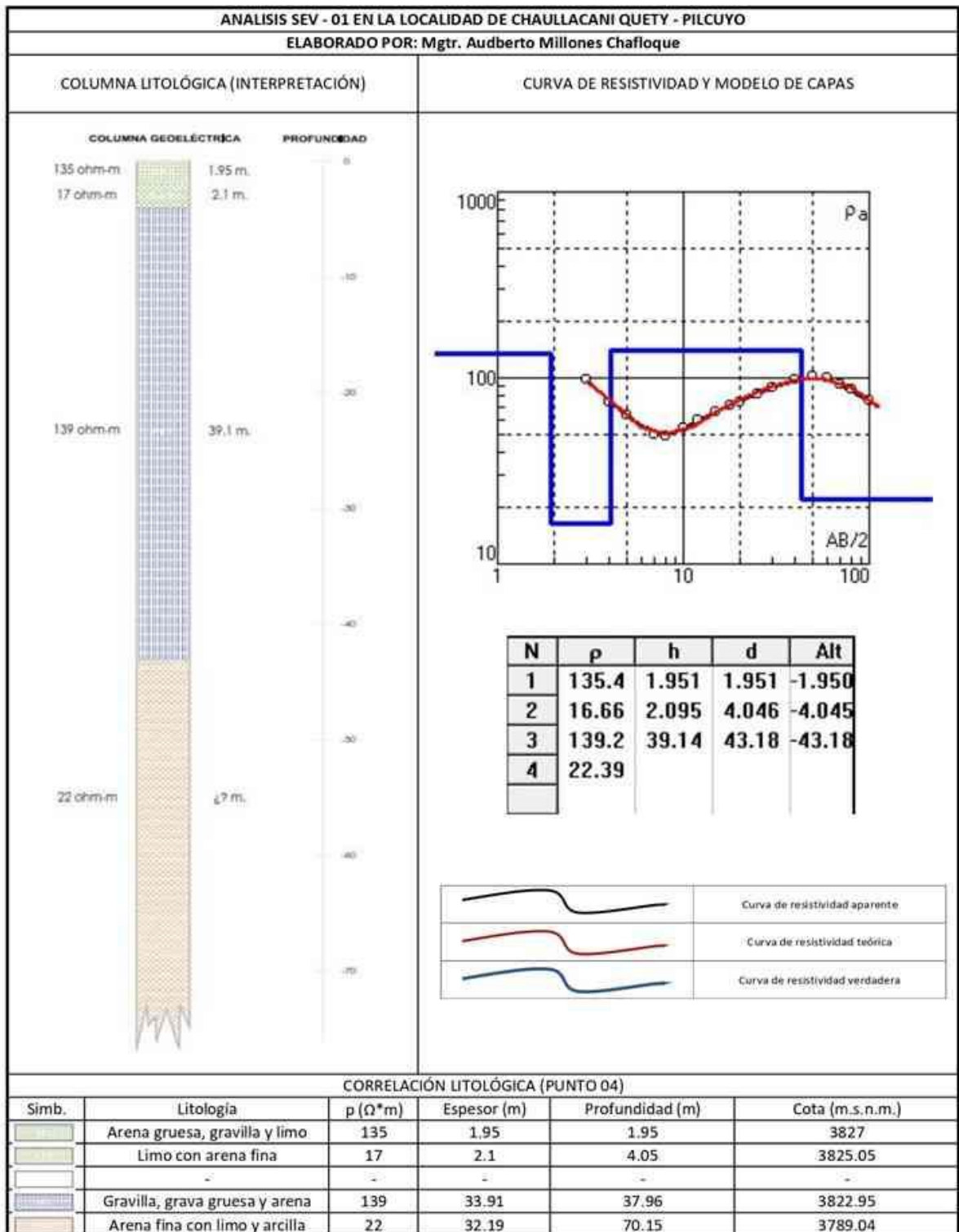


Figura 15. Interpretación de resultados obtenidos en el SEV 4 Quety.

b) Sondaje eléctrico vertical 5: Comunidad Chaullacamani Quety

Columna geoelectrica puntual 5

De la interpretación de los valores de resistividades y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 5, en la comunidad de Chaullacamani Quety; la que se muestra en la figura 16, y a partir de la cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H1: horizonte a nivel superficial (trama verde), de resistividad 160 ohm-m que representa arenas gruesas, gravillas y limos, de espesor 1.8 metros.

H2: horizonte sub-superficial (trama verde) de resistividad 29 ohm-m que representa material limos con arenas finas, de espesor 2.3 metros.

H3: horizonte en nivel sub-siguiente (trama azul) de resistividad 58 ohm-m que refiere a material de arenas gruesas, grava y limos con espesor 5.4 metros, de estado saturado. Conformo el acuífero favorable en columna superior.

Horizonte H4 (trama azul) Estrato en sucesión sub-intermedia de resistividad 133 ohm-m cuyo valor óhmico interpreta a material gravillas, grava gruesa y arenas de espesor 41.2 metros, de estado saturado. Corresponde el acuífero favorable de columna inferior.

Horizonte H5 (trama naranja) Constituye la secuencia sub-yacente con resistividad 15 ohm-m cuyo valor óhmico representa arenas finas con limos y arcillas de espesor no determinado simbolizado por ¿? m que se muestra con tendencia de continuidad en profundidad.

En el punto SEV 5, las posibilidades acuíferas se manifiestan en estrato de horizonte H3 y H4 (trama azul), valores de resistividad aparente de 58 y 133 ohm-m respectivamente, características de un acuífero favorable en la columna del subsuelo. Los horizontes guardan relación con el anterior. La disposición estratigráfica de horizonte H5 (trama naranja) es de composición litológica finas sin interés constituyendo el basamento hidrogeológico.

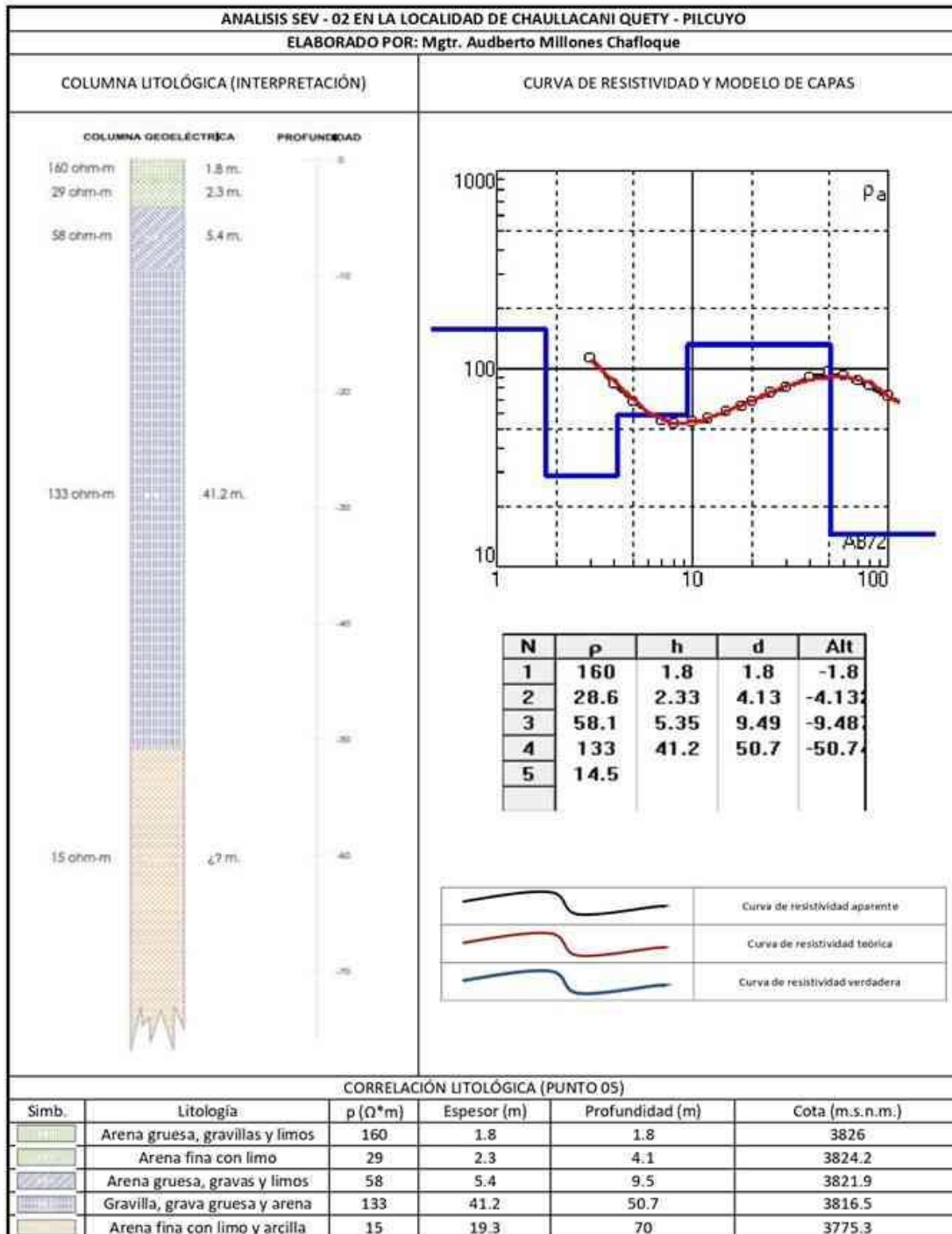


Figura 16. Interpretación de resultados obtenidos en el SEV 5 Quety.

c) Sondaje eléctrico vertical 6: Comunidad Quety

Columna geoelectrica puntual 6

De la interpretación de los valores de resistividades y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 6, en la comunidad Chaullacamani Quety; la que se muestra en la figura 17, y a

partir de la cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H1: Horizonte a nivel superficial (trama verde) de resistividad 53 ohm-m que representa arenas con limos, de espesor de 1.8 metros.

H2: Horizonte a nivel sub-superficial (trama verde) de resistividad 24 ohm-m que representa a limos y arenas, de espesor 2.3 metros.

H3: Horizonte en sucesión sub-inferior (trama azul) de resistividad 76 ohm-m que representa arenas gruesas, gravas y limos de espesor 17.7 metros, en estado saturado. Corresponde la columna superior del acuífero favorable.

H4: Horizonte en continuación sub-intermedia (trama azul) de resistividad 143 ohm-m que representa gravillas, grava gruesa y arenas de espesor 41.2 metros, de estado saturado. Constituye la columna inferior del acuífero favorable.

H5: Horizonte en secuencia sub-yacente (trama naranja) de resistividad 26 ohm-m que representa arenas finas con limos y arcillas, de espesor no determinado simbolizado por ¿? m que se muestra con tendencia de continuidad en profundidad.

En el punto SEV 6, las posibilidades acuíferas se manifiestan en los estratos de horizonte H3 y H4 (trama azul), con resistividades aparentes de 76 y 143 ohm-m respectivamente, característicos en un acuífero favorable en la columna del subsuelo. Los horizontes guardan relación con el anterior. La disposición estratigráfica de horizonte H5 (trama naranja) es de composición litológica finas sin interés constituyendo el basamento hidrogeológico.

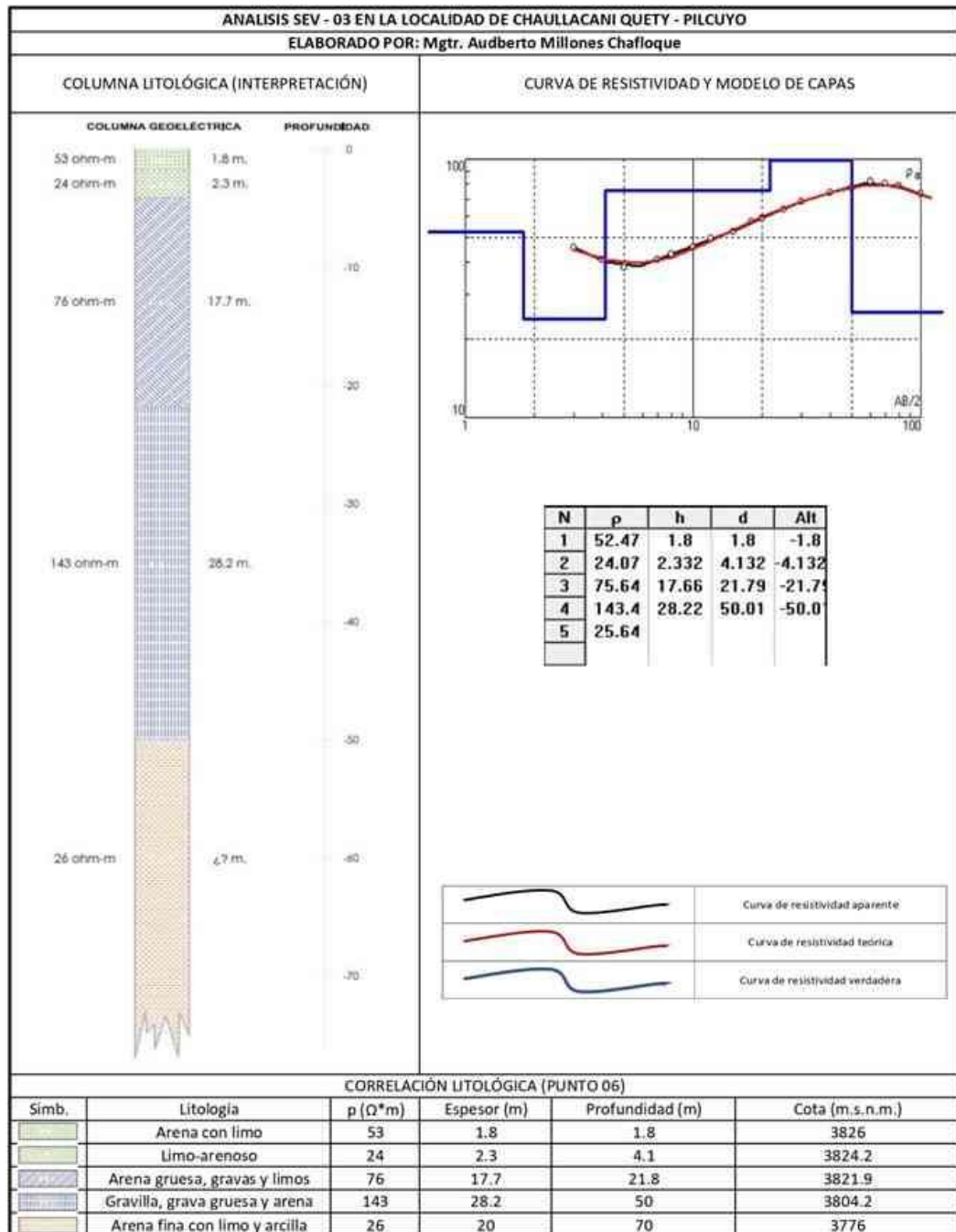


Figura 17. Interpretación de resultados obtenidos en SEV 6 Quety.

d) Sondaje eléctrico vertical 7: Comunidad Chaullacamani Quety

Columna geoelectrica puntual 7

De la interpretación de los valores de resistividades y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 7, en la comunidad Chaullacamani Quety; la que se muestra en la figura 18, y a

partir de la cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H2: Horizonte a nivel superficial (trama verde) de resistividad 53 ohm-m que representa limos arenosos, de espesor de 4.5 metros.

H3: Horizonte en sucesión sub–inferior (trama azul) de resistividad 83 ohm-m que representa arenas gruesas, gravas y limos de espesor 18.3 metros, en estado saturado. Esta secuencia constituye la columna superior del acuífero favorable.

H4: Horizonte en sucesión sub–intermedia (trama azul) de resistividad 153 ohm-m que representa gravillas, grava gruesa y arenas de espesor 28.2 metros, de estado saturado. Corresponde la columna inferior del acuífero favorable.

H5: Horizonte en secuencia sub–yacente (trama naranja) de resistividad 22 ohm-m que representa arenas finas con limos y arcillas, de espesor no determinado simbolizado por ¿? m que se muestra con tendencia de continuidad en profundidad. Esta secuencia constituye el basamento hidrogeológico.

En el punto SEV 7, las posibilidades acuíferas se manifiestan en los estratos H3 y H4 (trama azul), cuyos valores de resistividad 58 y 153 ohm-m denotan un comportamiento acuífero favorable en la columna del subsuelo. Así mismo dichos Horizontes en la extensión vertical guardan correlación en las expectativas de su geometría con agua subterránea en las condiciones hidrogeológicas.

La disposición estratigráfica de Horizonte H5 (trama naranja) es de composición litológica finas y sin interés, constituye el basamento hidrogeológico.

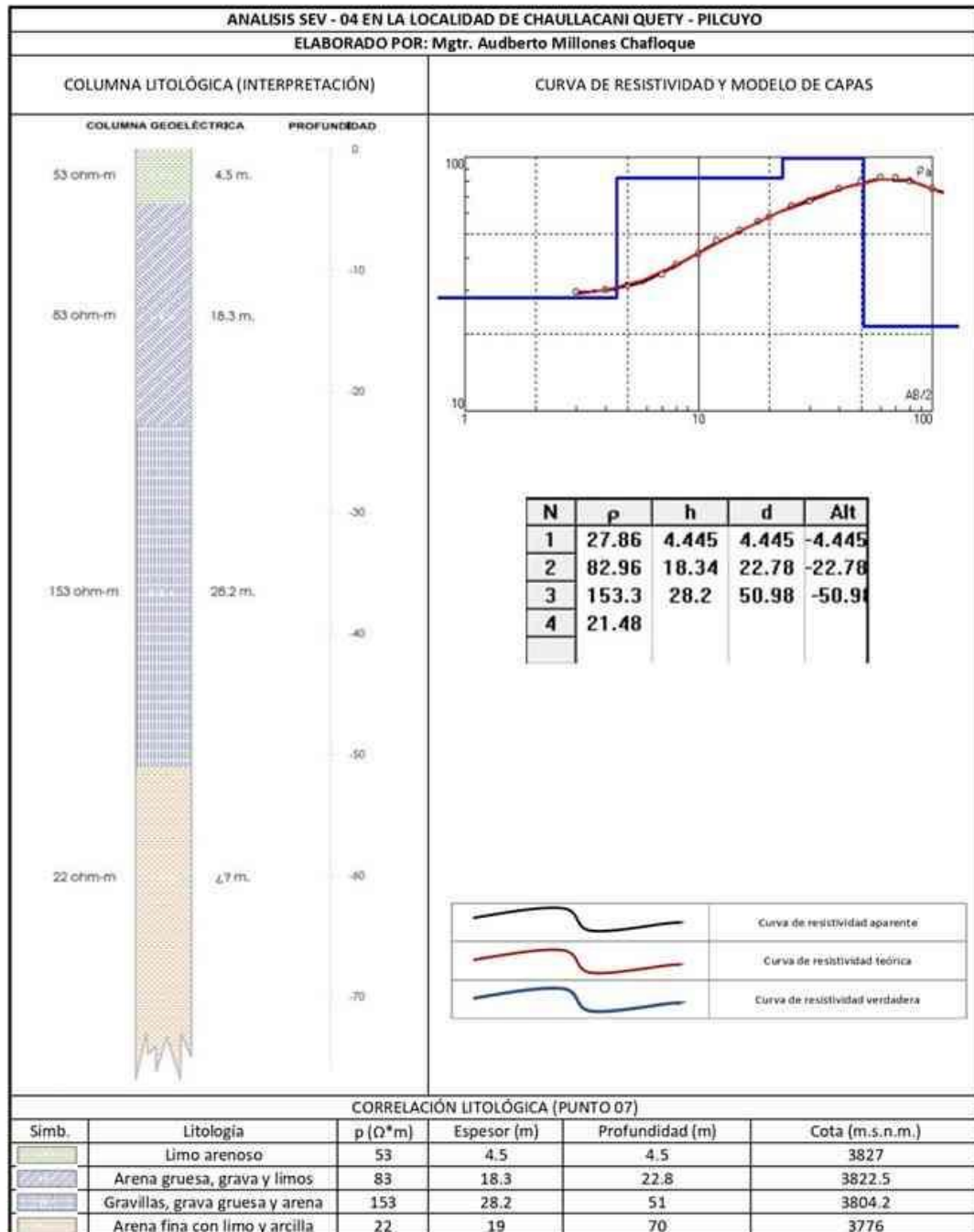


Figura 18. Interpretación de resultados obtenidos en el SEV 7 Quety.

4.1.3.3 Sector Alfonso Ugarte

a) Sondaje eléctrico vertical 8: Alfonso Ugarte

Columna geoelectrica puntual 8

De la interpretación de los valores de resistividades y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 8, en el Sector

Alfonso Ugarte; la que se muestra en la figura 19, y a partir de la cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H1: Horizonte diferenciado a la cobertura superficial (trama verde) con resistividad 78 ohm-m que representa material orgánico limoso y detritos, cuyo espesor alcanza 1.6 metros, en estado ligera humedad.

H2: Horizonte sub-superficial (trama café) de resistividad 18 ohm-m que representa material sedimentos limo con arena fina semi-consolidado, mostrando un espesor de 1.3 metros y en un estado húmedo.

H4: Horizonte en secuencia sub-intermedia (trama azul) de resistividad 43 ohm-m que representa sedimentos interestratificados de arena media con limo medianamente consolidado, de espesor es de 47.8 metros. Representa el estrato acuífero del agua subterránea.

H5: Horizonte en sucesión sub-inferior (trama naranja) de resistividad 94 ohm-m que representa sedimentos arcilla y limo de condición consolidado e impermeable, con espesor no determinado simbolizado por ¿? m que se muestra de continuidad en profundidad, su estado litológico constituye el basamento.

En el punto SEV 8, las posibilidades acuíferas se manifiestan en el estrato H4 (trama azul), con resistividad de 43 ohm-m, denota un comportamiento acuífero favorable en la columna del subsuelo. Así mismo dichos Horizontes en la extensión vertical guardan correlación en las expectativas de su geometría con agua subterránea en las condiciones hidrogeológicas. La disposición estratigráfica de Horizonte H5 (trama naranja) es de composición litológica finas y sin interés, constituye el basamento hidrogeológico.

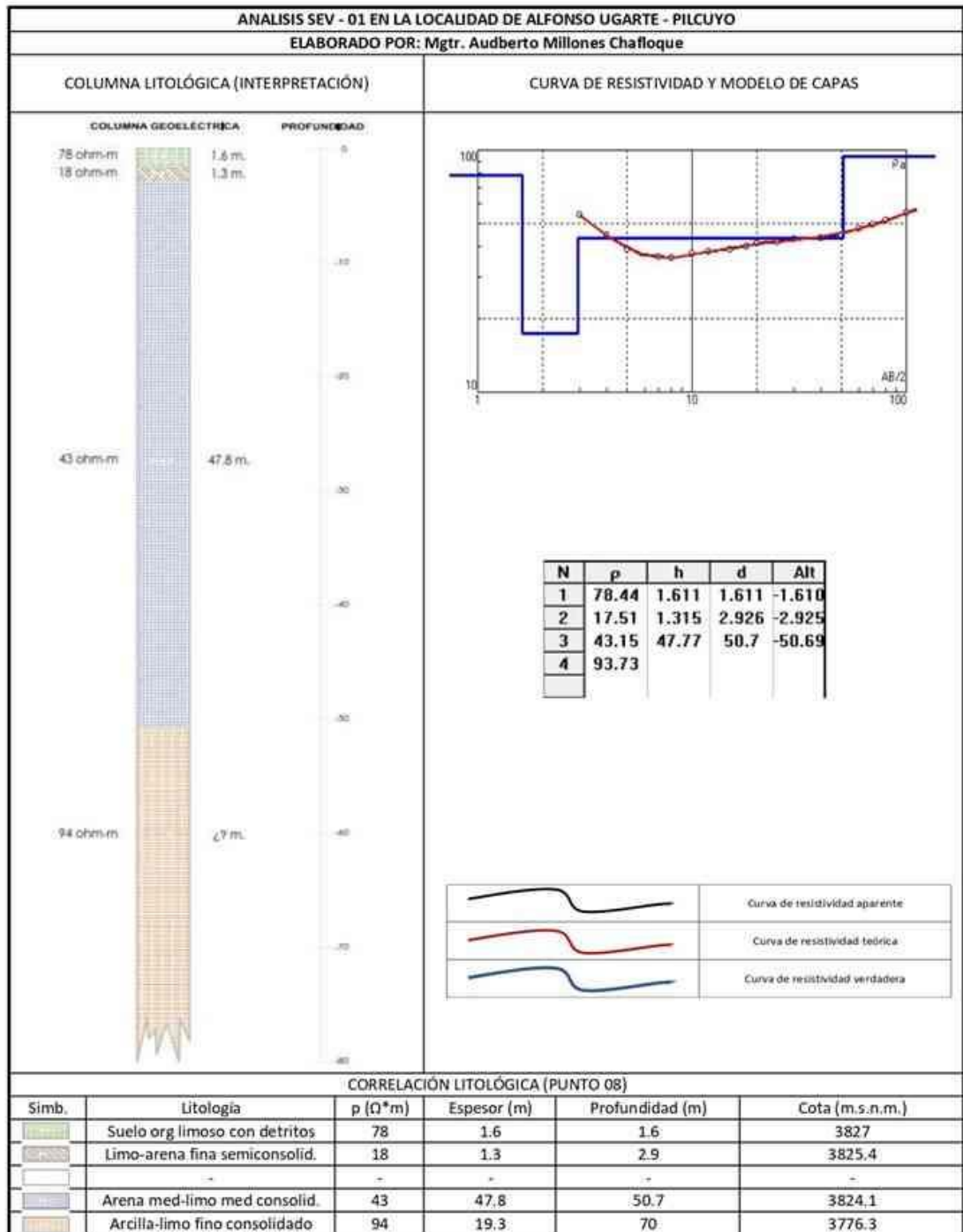


Figura 19. Interpretación de resultados obtenidos en SEV 8 Alfonso Ugarte.

b) Sondaje eléctrico vertical 9: Sector Alfonso Ugarte

Columna geoelectrica puntual 9

De la interpretación de los valores de resistividades y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 9, en el Sector Alfonso Ugarte; la que se muestra en la figura 20, y a partir de la

cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H1: Horizonte caracterizado a nivel superficial (color verde) de resistividad 44 ohm-m que interpreta a material orgánico limoso y detritos, cuyo espesor alcanza 1.8 metros, en estado ligeramente húmedo.

H2: Horizonte sub-superficial (color café) de resistividad 18 ohm-m que concierne a material sedimentos limo con arena fina semiconsolidado, presentando un espesor de 2.3 metros, en estado húmedo.

H4: Horizonte sub-intermedia (color azul) de resistividad 56 ohm-m que describe a material sedimentos interestratificados de arena media con limos medianamente consolidado y alcanza un espesor de 46.2 metros. Representa el estrato acuífero del agua subterránea.

H5: Horizonte en sucesión sub-inferior (color naranja) de resistividad 29 ohm-m que interpreta a material de sedimentos finos de arcilla y limo interestratificados, condición consolidado e impermeable, de espesor no determinado simbolizado por ¿? m que se muestra de continuidad en profundidad, su estado litológico constituye el basamento.

En el punto SEV 9, las posibilidades acuíferas se manifiestan en el estrato H4 (trama azul), con resistividad de 56 ohm-m, denota un comportamiento acuífero favorable en la columna del subsuelo. Así mismo dichos Horizontes en la extensión vertical guardan correlación en las expectativas de su geometría con agua subterránea en las condiciones hidrogeológicas. La disposición estratigráfica de Horizonte H5 (trama naranja) es de composición litológica finas y sin interés, constituye el basamento hidrogeológico.

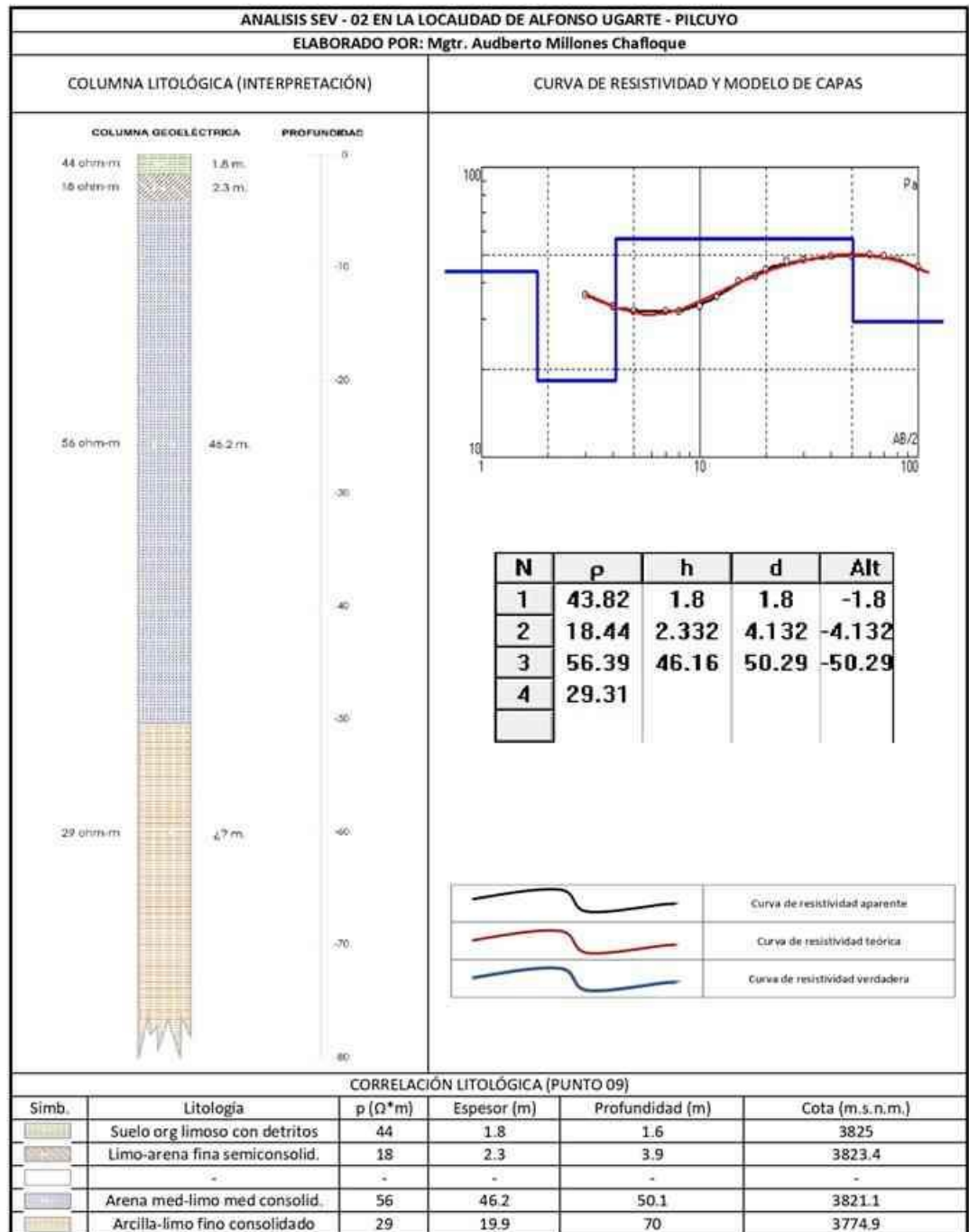


Figura 20. Interpretación de resultados obtenidos en el SEV 9 Alfonso Ugarte.

c) Sondaje eléctrico vertical 10: Sector Alfonso Ugarte

Columna geoelectrica puntual 10

De la interpretación de los valores de resistividades y su correlación con el resto de los SEVs, se elaboró la columna geoelectrica del SEV 10, en el sector Alfonso Ugarte; la que se muestra en la figura 21, y a partir de la

cual se describe las características de la columna elaborada, según el siguiente detalle:

H1: Horizonte diferenciado a cobertura superficial (trama verde) de resistividad 59 ohm-m que representa material orgánico limoso y detritos, de espesor alcanza 4.2 metros, con ligera humedad.

H3: Horizonte en secuencia sub-siguiente (trama azul) de resistividad 42 ohm-m que representa sedimentos interestratificados de arena media con limo medianamente consolidado y de espesor 5.4 metros, este nivel se considera acuífero superficial del agua subterránea.

H4: Horizonte sub-intermedio (trama azul) de resistividad 57 ohm-m que representa sedimentos interestratificados de arena media con limo medianamente consolidado, de espesor 40.5. Constituye el acuífero profundo del agua subterránea propiamente dicho.

H5: Horizonte en sucesión sub-inferior (trama naranja) de resistividad 4 ohm-m representa material sedimentos finos de arcilla y limo, de condición impermeable y de espesor no determinado simbolizado por ¿? mostrando continuidad en profundidad. Su estado litológico constituye el basamento.

En el punto SEV 10, las posibilidades acuíferas se manifiestan en el estrato H4 (trama azul), con resistividad de 57 ohm-m, denota un comportamiento acuífero favorable en la columna del subsuelo. Así mismo dicho horizonte en la extensión vertical y guarda correlación en las expectativas de su geometría con agua subterránea en las condiciones hidrogeológicas. La disposición estratigráfica de Horizonte H5 (trama naranja) es de composición litológica finas y sin interés, constituye el basamento hidrogeológico.

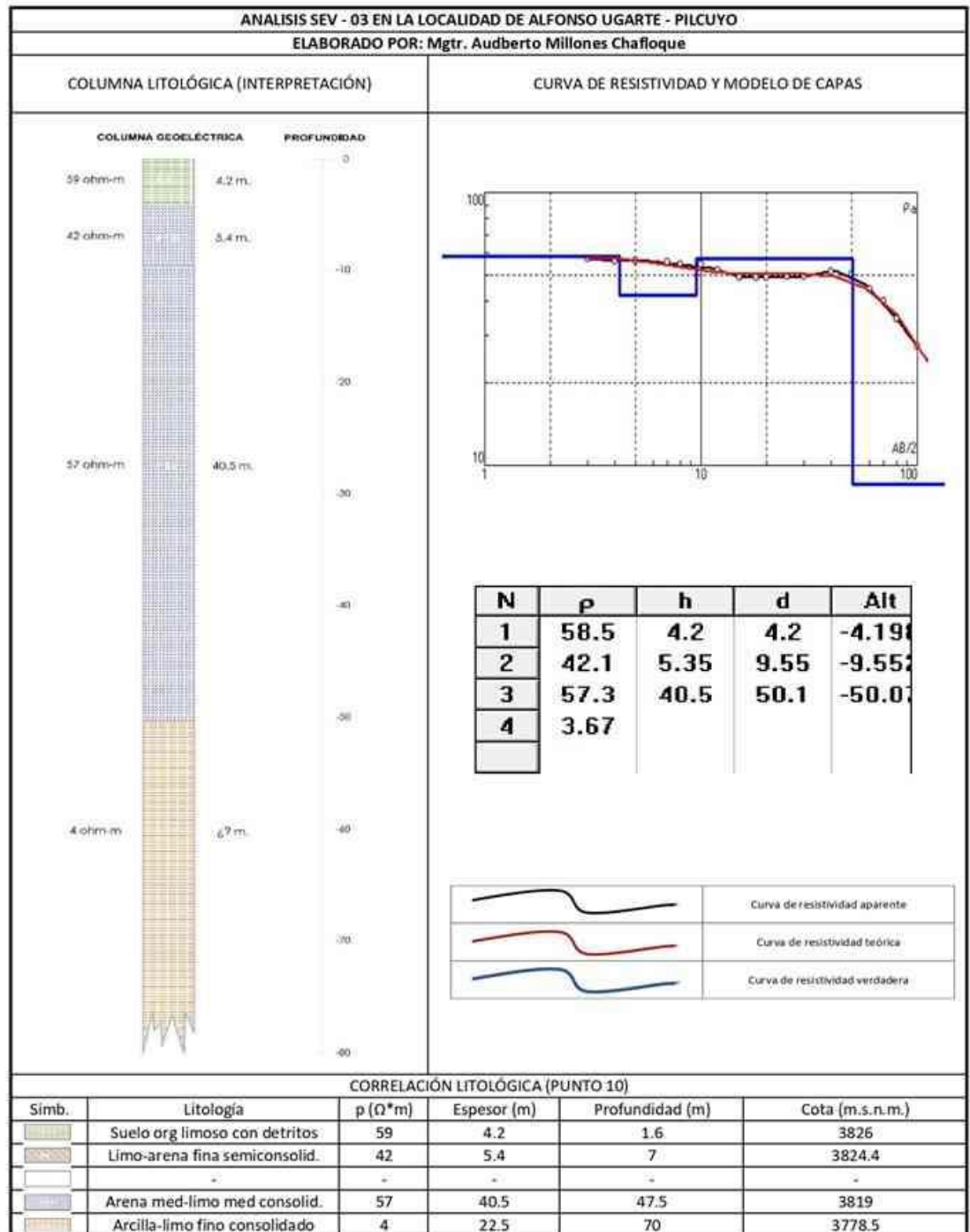


Figura 21. Interpretación de los resultados obtenidos en el SEV 10 Alfonso Ugarte

4.1.4 Relación de los suelos con valores de resistividad aparente.

Para determinar la relación entre el tipo de suelos (formaciones geológicas) de los sectores Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte ubicados en la cuenca del río Zapatilla, según la información de campo; con los valores de la resistividad aparente de los mismos, obtenidos, y según valores establecidos en otras investigaciones, obtenemos como resultado de esa relación las tablas 10 y 11 que a continuación se presentan:

Tabla 10

Análisis comparativo entre el tipo de suelos y valores de resistividad aparente determinados en los SEVs del 1 al 5: Sector Sancuta, comunidades de Sancuta y Chaullacamani.

Sondaje Eléctrico Vertical															
ESTRATO N°	Localidad de Sancuta Sev 01			Localidad de Sancuta Sev 02			Localidad de Sancuta Sev 03			Localidad de Chaullacamani Sev 04			Localidad de Chaullacamani Sev 05		
	Espesor (m)	Resist. Apar. (Ω -m)	Litología	Espesor (m)	Resist. Apar. (Ω -m)	Litología	Espesor (m)	Resist. Apar. (Ω -m)	Litología	Espesor (m)	Resist. Apare. (Ω *m)	Litología	Espesor (m)	Resist. Apar. (Ω - m)	Litología
1	3.77	23.7	Areno limoso	1.80	15.7	Limo arcilloso	1.80	66	Areno limoso	1.95	135	Arena gruesa, gravilla y limo	1.80	160	Arena gruesa, gravillas y limos
2				2.33	64.8	Areno limoso	2.33	12.5	Limo y arena fina	2.10	17	Limo con arena fina	2.30	29	Arena fina con limo
3	30.12	49.4	Arena media a fina	5.35	19.9	Arena limosa fina	46.10	78.6	Arena media a gruesa				5.40	58	Arena gruesa, gravillas y limos
4	36.11	20.1	Limo arcilloso	40.85	97.7	Arena media a gruesa	19.77	9.6	Limo arcilloso	33.91	139	Gravilla, grava gruesa y arena	41.20	133	Gravilla, grava gruesa y arena
5				19.67	4.5	Limo arcilloso				32.19	22	Arena fina con limo y arcilla	19.30	15	Arena fina con limo y arcilla

Analizando la tabla 10, la litología de los estratos encontrados en cada SEV, ha sido definida en base a los valores de resistividad aparente en cada uno de ellos, siendo el estrato de nuestro interés, aquel que se simboliza con trama o la coloración azul, ello significa presencia de agua subterránea; verificándose que en los SEV 01, 02 y 03 en el sector Sancuta, el estrato de interés, presentan un

espesor, que va desde los 30.12 m a 46.10 m; conformados por arenas finas, medias y gruesas, con valores resistividad aparente desde 49.4 Ω -m hasta 97.7 Ω -m con contenido de agua subterránea relativamente estable; en los SEVS 04 y 05 en la comunidad de Chaullacamani, efectuando el mismo procedimiento de análisis, presenta un espesor de estrato de interés de 33.91 m a 41.2 m conformado por gravilla, grava gruesa y arena, con valores de resistividad aparente que va desde 133 a 139 Ω – m, con contenido de agua subterránea más estable .

Tabla 11

Análisis comparativo entre el tipo de suelos y los valores de resistividad aparente determinados en los SEVs del 6 al 10, sectores Quety y Alfonso Ugarte

Sondaje Eléctrico Vertical															
ESTRATO N°	Localidad De Quety Sev 06			Localidad De Quety Sev 07			Localidad De Alfonso Ugarte Sev 08			Localidad De Alfonso Ugarte Sev 09			Localidad De Alfonso Ugarte Sev 10		
	Espesor (m)	Resist. Apar. (Ω - m)	Litología	Espesor (m)	Resist. Apar. (Ω - m)	Litología	Espesor (m)	Resist. Apar. (Ω - m)	Litología	Espesor (m)	Resist. Apar. (Ω - m)	Litología	Espesor (m)	Resist. Apar. (Ω - m)	Litología
1	1.80	53	Arena con limo	4.50	160	Limo arenoso	1.60	78	Suelo orgánico limoso con detritos	1.80	44	Suelo orgánico limoso con detritos	4.20	59	Suelo orgánico limoso con detritos
2	2.30	24	Limo arenoso	18.30	29	Arena gruesa, gravas y limos	1.30	18	Limo con arena fina semi consolidada	2.30	18	Limo con arena fina semi consolidada	5.40	42	Limo con arena fina semi consolidada
3	17.70	76	Arena gruesa, gravas y limos	28.20	58	Gravilla, grava y arena									
4	28.20	143	Gravilla, grava y arena	19.00	133	Arena fina con limo y arcilla	47.80	43	Arena media con limo semi consolidado	46.20	56	Arena media con limo semi consolidado	40.50	57	Arena media con limo semi consolidado
5	20.00	26	Arena fina con limo y arcilla				19.30	94	Arcilla con limo consolidado	19.90	29	Arcilla con limo consolidado	22.50	4	Arcilla con limo consolidado

Analizando la tabla 11, la litología de los estratos encontrados en cada SEV, ha sido definida en base a los valores de resistividad aparente en cada uno de ellos, siendo el estrato de nuestro interés, aquel que se simboliza con trama o la coloración azul, ello significa presencia de agua subterránea; verificándose que en los SEV 6 y 7 en el sector Quety, el estrato de interés, presentan un espesor en ambos, de 28.20 m; conformado por grava, gravilla y arenas, con valores

resistividad aparente que van desde 58 Ω -m hasta 143 Ω -m con contenido de agua subterránea relativamente estable; en los SEVS 8, 9 y 10 en el sector Alfonso Ugarte, efectuando el mismo procedimiento de análisis, presenta un espesor de estrato de interés de 40.50 m a 47.8, conformado por arena media con limo semi-consolidado, con valores de resistividad aparente de 43 a 57 Ω - m con contenido de agua subterránea más estable.

El método utilizado para obtener valores de resistividad aparente con Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), es el mismo que se indica en la tabla 1, elaborada por García & Castro (2018), quienes señalan que es uno de los métodos más usados en la investigación indirecta para ubicar estratos acuíferos a profundidad, en sentido vertical, por lo tanto en una sola dimensión (1D: vertical), igualmente Auge (2008) y Paganini, (2019) resaltan la bondad del uso de este método por ser versátil y económico, y Fonseca (2018), en su investigación realizada en Colombia, resalto el comportamiento de la resistividad eléctrica para ubicar estratos húmedos, es decir con contenido de agua; encontrando zonas con resistividades bajas en sedimentos como areniscas saturadas.

Los valores de resistividad aparente, encontrados en la zona de estudio que están en un rango de variación de 43 a 143 Ω -m, guardan relación con los señalados por Markiewicz & Klajn (2003) en las tablas 2 y 4, donde señala que valores de resistividades aparentes que varían de 50 a 3 000 Ω – m, representan a materiales permeables consideradas como acuíferos, que contienen agua, y varían desde areniscas, arena fina, media, gruesa, gravillas, gravas, calizas fracturadas, pero que dicha agua podría estar afectada por la presencia de iones, variando de alguna manera dichos valores, que para cuya identificación más aproximada, se requiere tener conocimiento geológico y químico.

4.1.5 Descripción detallada de la distribución de los estratos en las columnas estratigráficas

Teniendo como sustento las tablas 10 y 11, señaladas anteriormente, se describe y representa de una mejor manera, la distribución y ubicación a profundidad de los estratos determinados, para ello se elaboró secciones geológicas y su respectiva columna estratigráfica, que a continuación se describen por cada sondaje eléctrico realizado.

4.1.5.1 Columna estratigráfica del SEV 01 Sancuta

La figura 22, representa columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 1 Comunidad de Sancuta, en ella se observa que está conformada, en el primer horizonte por material areno limoso que en su composición geológica corresponde a un depósito cuaternario correspondiente al Qh-bi depósito biogénico; en el segundo horizonte por material arenoso que en su representación geológica corresponde a la formación Muñani Pm-3 constituido por arenas y areniscas rojas, es por donde circula las aguas subterráneas, conformando acuífero; y en el tercer horizonte se presenta la formación Puno P-pu2, constituidas por areniscas.

Perfil del suelo	No.	Espesor H [m]	Profundidad d [m]	Nombre del suelo/ descripción de la capa
	1	3.77	0.00 - 3.77	Qh-bi Depósito biogénico
	2	30.12	3.77 - 33.89	Pm-3 (a) Formación Muñani
	3	36.11	33.89 - 70.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 22. Columna estratigráfica del SEV 01 Sancuta.

4.1.5.2 Columna estratigráfica del SEV 02 Sancuta

La figura 23, representa la columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 2 Comunidad Sancuta, en ella se observa que está conformada en el primer horizonte material de deposición superficial conformado por la formación Azángaro Qp-az3, el cual presenta una secuencia de conglomerados polimicticos, areniscas y limoarcillitas en conjunto; en el segundo horizonte contiene material de deposición biogénica Qh-bi

producto de terreno agrícola que se utiliza así en la zona, su composición geológica lo constituye depósitos cuaternarios; el tercer y cuarto horizonte se presenta la formación Muñani Pm-3 conformado por areniscas cuarzosas rojas y blanquecinas de partícula o grano fino a grueso, con coloración grisácea blanquecina con tintes rojizos siendo esta parte en donde se presenta el acuífero en mayor cantidad de agua en el cuarto horizonte; mientras como quinto horizonte se presenta la formación Puno P-pu2, correspondiendo las cuatro formaciones a las resistividades encontradas en el SEV 02.

Perfil del suelo	No.	Espesor H [m]	Profundidad d [m]	Nombre del suelo/ descripción de la capa
	1	1.80	0.00 - 1.80	Qp-az3 Formación Azángaro
	2	2.33	1.80 - 4.13	Qh-bi Depósito biogenético
	3	5.35	4.13 - 9.48	Pm-3 (b) Formación Muñani TIPO 1
	4	40.85	9.48 - 50.33	Pm-3 (a) Formación Muñani
	5	19.67	50.33 - 70.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 23. Columna estratigráfica del SEV 02 Sancuta.

4.1.5.3 Columna estratigráfica del SEV 03 Sancuta.

La figura 24, representa columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 3 Comunidad Sancuta, en ella se observa que está conformada en el primer horizonte material de deposición biogenética Qh-bi producto de terreno agrícola que existe en la zona, constituido geológicamente por

depósitos cuaternarios; en el segundo horizonte corresponde a un material de deposición superficial conformado por la formación Azángaro Qp-az3 el cual presenta una secuencia de conglomerados polimicticos, areniscas y limo-arcillitas en conjunto; el tercer horizonte se presenta la formación Muñani Pm-3 conformado por areniscas cuarzosas rojas y blanquecinas de grano fino a grueso, de color gris blanquecina y tintes rojizos siendo esta parte en donde se presenta el acuífero; mientras que el cuarto horizonte se presenta la formación Puno P-pu2, correspondiendo las cuatro formaciones a las resistividades encontradas en el SEV 03.

Perfil del suelo	No.	Espesor H [m]	Profundidad d [m]	Nombre del suelo/ descripción de la capa
	1	1.80	0.00 - 1.80	Qh-bi Depósito biogenético
	2	2.33	1.80 - 4.13	Qp-az3 Formación Azángaro
	3	46.61	4.13 - 50.74	Pm-3 (a) Formación Muñani
	4	19.26	50.74 - 70.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 24. Columna estratigráfica del SEV 03 Sancuta.

4.1.5.4 Columna estratigráfica del SEV 04 Quety.

La figura 25, representa columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 4 Comunidad Quety, en ella se observa que está conformada en el primer horizonte por material de deposición biogenética Qh-bi producto de terreno agrícola que se utiliza en la zona y en su representación geológica corresponde a depósitos cuaternarios; en el segundo horizonte corresponde a un material de deposición aluvial conformado por deposición de

sedimentos cuaternarios Qh-al el cual presenta arena, grava y arcilla producto de ríos que se encuentra a su cercanía; el tercer horizonte se presenta la formación Muñani Pm-3 conformado por areniscas cuarzosas rojas y blanquecinas de partícula o grano fino a grueso, de coloración gris blanquecina y tintes rojizos siendo esta parte en donde se presenta el acuífero; mientras que el cuarto horizonte se presenta la formación Puno P-pu2, correspondiendo las cuatro formaciones a las resistividades encontradas en el SEV 04.

Perfil del suelo	No.	Espesor H [m]	Profundidad d [m]	Nombre del suelo/ descripción de la capa
	1	1.95	0.00 - 1.95	Qh-bi Depósito biogénico
	2	2.10	1.95 - 4.05	Qh-al Deposito aluvial
	3	39.10	4.05 - 43.15	Pm-3 (a) Formación Muñani
	4	26.85	43.15 - 70.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 25. Columna estratigráfica del SEV 04 Quety.

4.1.5.5 Columna estratigráfica del SEV 05 Quety.

La figura 26, representa columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 5 Comunidad Quety, en ella se observa que está conformada conformado en el primer horizonte por material de deposición biogénica Qh-bi producto de terreno agrícola que se utiliza en la zona y en su representación geológica corresponde a depósitos cuaternarios; en el segundo horizonte corresponde a un material de deposición aluvial conformado por deposición de sedimentos cuaternarios Qh-al el cual presenta arena, grava y arcilla producto de ríos que se encuentra a su

cercanía; el tercer horizonte se presenta la formación Muñani Pm-3 conformado por areniscas cuarzosas rojas y blanquecinas de grano fino a grueso, de color gris blanquecina y tintes rojizos siendo esta parte en donde se presenta el acuífero; mientras que el cuarto horizonte se presenta la formación Puno P-pu2, correspondiendo las cuatro formaciones a las resistividades encontradas en el SEV 05.

Perfil del suelo	No.	Espesor H [m]	Profundidad d [m]	Nombre del suelo/ descripción de la capa
	1	1.80	0.00 - 1.80	Qh-bi Depósito biogénico
	2	2.30	1.80 - 4.10	Qh-al Deposito aluvial
	3	46.60	4.10 - 50.70	Pm-3 (a) Formación Muñani
	4	19.30	50.70 - 70.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 26. Columna estratigráfica SEV 05 Quety.

4.1.5.6 Columna estratigráfica del SEV 06 Quety.

La figura 27, representa columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 6 Comunidad Quety, en ella se observa que está conformada conformado en el primer horizonte por material de deposición biogénica Qh-bi producto de terreno agrícola que se utiliza en la zona y en su representación geológica corresponde a depósitos cuaternarios; en el segundo horizonte corresponde a un material de deposición aluvial conformado por deposición de sedimentos cuaternarios Qh-al el cual presenta arena, grava y arcilla producto de ríos que se encuentra a su cercanía; el tercer y cuarto horizonte se presenta la formación Muñani Pm-3 conformado por areniscas cuarzosas rojas y blanquecinas de grano fino a

grueso, de color gris blanquecina y tintes rojizos siendo esta parte en donde se presenta el acuífero pero en mayor cantidad en el el horizonte cuatro; mientras que el quinto horizonte se presenta la formación Puno P-pu2, correspondiendo las cuatro formaciones a las resistividades encontradas en el SEV 06.

Perfil del suelo	No.	Espesor	Profundidad	Nombre del suelo/ descripción de la capa
		H [m]	d [m]	
	1	1.80	0.00 - 1.80	Qh-bi Depósito biogénético
	2	2.30	1.80 - 4.10	Qh-al Deposito aluvial
	3	17.70	4.10 - 21.80	Pm-3 (b) Formación Muñani TIPO 1
	4	28.20	21.80 - 50.00	Pm-3 (a) Formación Muñani
	5	20.00	50.00 - 70.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 27. Columna estratigráfica SEV 06 Quety.

4.1.5.7 Columna estratigráfica del SEV 07 Quety.

La figura 28, representa columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 7 Comunidad Quety, en ella se observa que está conformada en el primer horizonte por un material de deposición aluvial conformado por deposición de sedimentos cuaternarios Qh-al el cual presenta arena, grava y arcilla producto de ríos que se encuentra a su cercanía; el segundo y tercer horizonte se presenta la formación Muñani Pm-3 conformado por areniscas cuarzosas rojas y blanquecinas de grano fino a grueso, de color gris blanquecina y tintes rojizos siendo esta parte en donde se presenta el acuífero pero con mayor cantidad en el tercer horizonte; mientras que el

cuarto horizonte se presenta la formación Puno P-pu2, correspondiendo las cuatro formaciones a las resistividades encontradas en el SEV 07.

Perfil del suelo	No.	Esesor	Profundidad	Nombre del suelo/ descripción de la capa
		H [m]	d [m]	
	1	4.50	0.00 - 4.50	Qh-al Deposito aluvial
	2	18.30	4.50 - 22.80	Pm-3 (b) Formación Muñani TIPO 1
	3	28.20	22.80 - 51.00	Pm-3 (a) Formación Muñani
	4	19.00	51.00 - 70.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 28. Columna estratigráfica SEV 07 Quety.

4.1.5.8 Columna estratigráfica del SEV 08 Alfonso Ugarte.

La figura 29, representa columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 8 barrio Alfonso Ugarte, en ella se observa que está conformada en el primer horizonte por material de deposición biogenética Qh-bi producto de terreno agrícola que se utiliza en la zona y en su representación geológica corresponde a depósitos cuaternarios; en el segundo horizonte corresponde a un material de deposición aluvial conformado por deposición de sedimentos cuaternarios Qh-al el cual presenta arena, grava y arcilla producto de ríos que se encuentra a su cercanía; el tercer horizonte se presenta la formación Muñani Pm-3 conformado por areniscas cuarzosas rojas y blanquecinas de grano fino a grueso, de color gris blanquecina y tintes rojizos siendo esta parte en donde se presenta el acuífero; mientras que el cuarto horizonte se presenta la formación Puno P-pu2,

correspondiendo las cuatro formaciones a las resistividades encontradas en el SEV 08.

Perfil del suelo	No.	Espesor	Profundidad	Nombre del suelo/ descripción de la capa
		H [m]	d [m]	
	1	1.60	0.00 - 1.60	Qh-bi Depósito biogénético
	2	1.30	1.60 - 2.90	Qh-al Deposito aluvial
	3	47.80	2.90 - 50.70	Pm-3 (a) Formación Muñani
	4	29.30	50.70 - 80.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 29. Columna estratigráfica SEV 08 Alfonso Ugarte

4.1.5.9 Columna estratigráfica del SEV 09 Alfonso Ugarte.

La figura 30, representa columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 9 barrio Alfonso Ugarte, en ella se observa que está conformada en el primer horizonte por material de deposición biogénica Qh-bi producto de terreno agrícola que se utiliza en la zona y en su representación geológica corresponde a depósitos cuaternarios; en el segundo horizonte corresponde a un material de deposición aluvial conformado por deposición de sedimentos cuaternarios Qh-al el cual presenta arena, grava y arcilla producto de ríos que se encuentra a su cercanía; el tercer horizonte se presenta la formación Muñani Pm-3 conformado por areniscas cuarzosas rojas y blanquecinas de grano fino a grueso, de color gris blanquecina y tintes rojizos siendo esta parte en donde se presenta el acuífero; mientras que el cuarto horizonte se presenta la formación Puno P-pu2,

correspondiendo las cuatro formaciones a las resistividades encontradas en el SEV 09.

Perfil del suelo	No.	Espesor	Profundidad	Nombre del suelo/ descripción de la capa
		H [m]	d [m]	
	1	1.80	0.00 - 1.80	Qh-bi Depósito biogénico
	2	2.30	1.80 - 4.10	Qh-al Deposito aluvial
	3	46.20	4.10 - 50.30	Pm-3 (a) Formación Muñani
	4	29.70	50.30 - 80.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 30. Columna estratigráfica SEV 09 Alfonso Ugarte

4.1.5.10 Columna estratigráfica del SEV 10 Alfonso Ugarte.

La figura 31, representa columna estratigráfica y/o sección geológica en el SEV 10 barrio Alfonso Ugarte, en ella se observa que está conformada en el primer horizonte por material de deposición biogénica Qh-bi producto de terreno agrícola que se utiliza en la zona y en su representación geológica corresponde a depósitos cuaternarios; el segundo y tercer horizonte se presenta la formación Muñani Pm-3 conformado por areniscas cuarzosas rojas y blanquecinas de grano fino a grueso, de color gris blanquecina y tintes rojizos siendo esta parte en donde se presenta el acuífero pero con mayor cantidad en el tercer horizonte; mientras que el cuarto horizonte se presenta la formación Puno P-pu2, correspondiendo las cuatro formaciones a las resistividades encontradas en el SEV 10.

Perfil del suelo	No.	Espesor	Profundidad	Nombre del suelo/ descripción de la capa
		H [m]	d [m]	
	1	4.20	0.00 - 4.20	Qh-bi Depósito biogénico
	2	5.40	4.20 - 9.60	Pm-3 (b) Formación Muñani TIPO 1
	3	40.50	9.60 - 50.10	Pm-3 (a) Formación Muñani
	4	29.90	50.10 - 80.00	P-pu2 Grupo Puno

Figura 31. Columna estratigráfica SEV 10 Alfonso Ugarte

4.2 Relación entre la calidad de las aguas subterráneas con los valores de resistividad aparente.

4.2.1 Interpretación de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas subterráneas extraídas de pozos exploratorios

Los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las muestras de aguas extraídas de pozos exploratorios, fueron efectuados en el laboratorio BHIOS en Arequipa y los resultados obtenidos fueron interpretados y analizados comparándolos con los límites de los valores máximos permisibles establecidos en el reglamento de calidad de agua del Ministerio de Salud, lo cual están incluidos en los estándares de calidad ambiental para el agua (ECAS) establecidas por el Ministerio del Ambiente (MINAM); los resultados de esa interpretación y análisis, se muestran en las tablas desde la 12 a la 18.

Tabla 12

Análisis fisicoquímico y bacteriológico del pozo exploratorio 1 en el sector Sancuta

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA CALIDAD DE AGUA - PILCUYO-SACUNTA (SAC 01)									
			ANÁLISIS EN LA LOCALIDAD DE SACUNTA SAC 01	Reglamento de Calidad de Agua: Consumo humano D.S. 081 2010-SA 2011	ECA para agua de Categoría 1, A1 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con desinfección	ECA para agua de Categoría 1, A2 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento convencional	ECA para agua de Categoría 1, A3 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento avanzado	EVALUACIÓN	OBSERVACIONES
MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad							
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS									
Conductividad (Laboratorio)	Conductividad (25°C)	µS/cm	436	1500	1500	1600	**	CUMPLE	
pH (Campo)	pH	Unidades de pH	7.5	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	5.5 a 9	5.5 a 9	CUMPLE	
Turbidez	Turbidez	NTU	7.5	5	5	100	**	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2
Color	Color Verdadero	UC	9	15	15	100	200	CUMPLE	
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO3/L	159.14	500	500	**	**	CUMPLE	
Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	227	1000	1000	1000	1000	CUMPLE	
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS									
Olor	Olor	...	ACEPTABLE	ACEPTABLE	NP	NP	NP	CUMPLE	
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA Aniones									
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruros, Cl	mg/L	21.26	250	250	250	250	CUMPLE	
	Nitratos, (como N)	mg/L	0.003	50	50	50	50	CUMPLE	
	Nitritos, (como N)	mg/L	0.001	3	3	3	**	CUMPLE	
	Sulfatos, SO4-2	mg/L	1.49	250	250	500	**	CUMPLE	
ANÁLISIS DE METALES TOTALES									
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.11	0.2	0.9	0.2	0.2	CUMPLE	
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.0004	0.02	0.02	0.02	**	CUMPLE	
	Arsénico (As)	mg/L	0.06805	0.01	0.01	0.01	0.015	CUMPLE	
	Bario (Ba)	mg/L	0.2086	0.7	0.7	1	**	CUMPLE	
	Boro (B)	mg/L	0.102	1.5	2.4	2.4	2.4	CUMPLE	
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00001	0.003	0.003	0.005	0.01	CUMPLE	
	Cobre (Cu)	mg/L	0.001	2	2	2	2	CUMPLE	
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00118	0.05	0.05	0.05	0.05	CUMPLE	
	Hierro (Fe)	mg/L	0.97	0.3	0.3	1	5	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.9008	0.4	0.4	0.4	0.5	NO CUMPLE	No cumple con ninguna categoría
	Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00036	0.07	0.07	**	**	CUMPLE	
	Níquel (Ni)	mg/L	0.0008	0.02	0.07	**	0.02	CUMPLE	
	Ploomo (Pb)	mg/L	0.0004	0.01	0.01	0.05	0.05	CUMPLE	
	Selenio (Se)	mg/L	0.0001	0.01	0.04	0.04	0.05	CUMPLE	
Sodio (Na)	mg/L	22.85	200	NP	NP	NP	CUMPLE		
Zinc (Zn)	mg/L	0.011	3	3	5	5	CUMPLE		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS									
Recuento de Bacterias Heterotróficas	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL	940	500	500	2000	20000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Numeración de Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	NMP/1000mL	4.5	0	20	2000	20000	NO CUMPLE	Cumple con todas la categorías A
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000mL	170	0	50	5000	50000	NO CUMPLE	Cumple con todas la categorías A
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000mL	4.5	0	0	**	**	NO CUMPLE	
Huevos y Larvas de Helminthos	Huevos y Larvas de Helminthos	N° Org/L	0	0	NP	NP	NP		
Quistes y Doquistes de Protozoarios Patógenos	Doquistes de Protozoarios Patógenos	N° Org/L	0	0	NP	NP	NP		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VIDA LIBRE (OVL)									
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L	21660	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismo/L	255315	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	

De la tabla 12, se observa que de los resultados del análisis fisicoquímico y bacteriológico obtenidos en el laboratorio, de la muestra de agua extraída del pozo exploratorio 1, en la comunidad Sancuta, se encontró elementos y propiedades que superan los valores o límites máximos permisibles establecidas en la categoría A1, en los análisis físicos químicos, como es la turbidez ($7 > 5$) y metales totales como el Hierro (Fe) ($0.97 > 0.3$) y Manganeseo (Mn) ($0.9 > 0.4$); en los análisis microbiológicos superan los límites máximos permisibles la mayoría de las categorías como los valores de organismos de vida libre en las algas y protozoarios establecidas en la categoría A1.

Estos valores encontrados, indican que en el sector Sancuta se presenta sólidos en suspensión, haciendo que el agua encontrada no es de uso inmediato para consumo humano; asimismo los valores de los contenidos de Hierro (Fe) y manganeso (Mn) son altos, siendo peligroso el uso de esas aguas para el consumo humano, pero si se quiera dar uso ante la escasez del agua, se requiriera realizar previo tratamiento a través de un sistema de aireación/filtración (solo como propuesta para la presente investigación), lo que influirá en el costo del sistema.

En el análisis microbiológico los altos contenidos de bacterias y coliformes fecales y totales es producto de que el agua subterránea se encuentra con influencia directa en zonas donde no se emplea un correcto sistema de desagüe para el uso poblacional ya que el uso de silos hace que el agua tenga un contacto más directo con dichos coliformes, uno de los tratamientos que se le puede dar para mantener dentro de la categoría A1 es la Ozonización (solo como propuesta para la presente investigación).

Por último, para mantener los valores dentro de la categoría apto para consumo humano se puede utilizar los reactivos de Fenon el cual es una solución de peróxido de hidrógeno y de una sal de hierro (solo como propuesta para la presente investigación).

Como se puede apreciar son diferentes tratamientos que se tiene que realizar para lograr que el agua encontrada en el pozo exploratorio N°1 pueda ser apto para consumo humano.

Tabla 13

Análisis fisicoquímico y bacteriológico del pozo exploratorio 2 en el sector Sancuta

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA CALIDAD DE AGUA - PILCUYO-SACUNTA (SAC 02)									
			ANÁLISIS EN LA LOCALIDAD DE SACUNTA SAC 02	Reglamento de Calidad de Agua: Consumo humana D.S. 081-2010-SA 2011	ECA para agua de Categoría 1, A1 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con desinfección	ECA para agua de Categoría 1, A2 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento convencional	ECA para agua de Categoría 1, A3 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento avanzado	EVALUACIÓN	OBSERVACIONES
METODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad							
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS									
Conductividad (Laboratorio)	Conductividad (25°C)	µS/cm	375	1500	1500	1600	**	CUMPLE	
pH (Campo)	pH	Unidades de pH	7.3	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	5.5 a 9	5.5 a 9	CUMPLE	
Turbidez	Turbidez	NTU	0.94	5	5	100	**	CUMPLE	Cumple con la categoría A2
Color	Color Verdadero	UC	4	15	15	100	100	CUMPLE	
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	127.64	500	500	**	**	CUMPLE	
Sólidos Totales	Sólidos Totales	mg/L	194	1000	1000	1000	1000	CUMPLE	
Sólidos Disueltos	Sólidos Disueltos	mg/L							
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS									
Olor	Olor	--	ACEPTABLE	ACEPTABLE	NP	NP	NP	CUMPLE	
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA-Aniones									
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruros, Cl ⁻	mg/L	31.94	250	250	250	250	CUMPLE	
	Nitratos, (como N)	mg/L	0.9	50	50	50	50	CUMPLE	
	Nitritos, (como N)	mg/L	0.001	3	3	3	**	CUMPLE	
	Sulfatos, SO ₄ -2	mg/L	7.42	250	250	500	**	CUMPLE	
ANÁLISIS DE METALES TOTALES									
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.06	0.2	0.9	0.2	0.2	CUMPLE	
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.00007	0.02	0.02	0.02	**	CUMPLE	
	Arsénico (As)	mg/L	0.02414	0.01	0.01	0.01	0.015	NO CUMPLE	No cumple con ningún ECA ni reglamento
	Bario (Ba)	mg/L	0.1123	0.7	0.7	1	**	CUMPLE	
	Boro (B)	mg/L	0.064	1.5	2.4	2.4	2.4	CUMPLE	
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00001	0.003	0.003	0.005	0.01	CUMPLE	
	Cobalto (Co)	mg/L	0.001	2	2	2	2	CUMPLE	
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00063	0.05	0.05	0.05	0.05	CUMPLE	
	Hierro (Fe)	mg/L	0.19	0.3	0.3	1	5	CUMPLE	
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.8146	0.4	0.4	0.4	0.5	NO CUMPLE	No cumple con ningún ECA ni reglamento
	Moilbdeno (Mo)	mg/L	0.00119	0.07	0.07	**	**	CUMPLE	
	Niquel (Ni)	mg/L	0.00007	0.02	0.07	**	0.02	CUMPLE	
	Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	0.01	0.01	0.05	0.05	CUMPLE	
	Selenio (Se)	mg/L	0.0001	0.01	0.04	0.04	0.05	CUMPLE	
Sodio (Na)	mg/L	20.1	200	NP	NP	NP	CUMPLE		
Zinc (Zn)	mg/L	0.007	3	3	5	5	CUMPLE		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS									
Recuento de Bacterias Heterotóxicas	Bacterias Heterotóxicas	UFC/mL	580	500	500	2000	20000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Numeración de Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	NMP/1000mL	220	0	20	2000	20000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000mL	700	0	50	5000	50000	NO CUMPLE	Cumple con todas la categorías A
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000mL	220	0	0	**	**	NO CUMPLE	
Huevos y Larvas de Helminintos	Huevos y larvas de Helminintos	N* Org/L	0	0	NP	NP	NP	-	
Quistes y Ooquistes de Protozoos Patógenos	Quistes y Ooquistes de Protozoos Patógenos	N* Org/L	0	0	NP	NP	NP	-	
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VILDA LIBRE (OVL)									
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de Vida Libre, Protozoos	Organismos de Vida Libre, Protozoos	Organismo/L	53810	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	

De la tabla 13, se observa que de los resultados obtenidos por el laboratorio, en el análisis fisicoquímico y bacteriológico, en la muestra extraída del pozo exploratorio 2 en Sancuta, tiene elementos y propiedades que están por encima de los valores o límites máximos permisibles establecidas en la categoría A1, en este caso, fueron los metales totales como el arsénico (As)(0.02414>0.015) y Manganeseo (Mn)(0.8146>0.5); en los análisis microbiológicos son mayores que los límites máximos permisibles en la mayoría de categorías como en los organismos de vida libre como son las algas y protozoarios, establecidas en la categoría A1.

Estos valores encontrados, indican que en el sector Sancuta en el área de influencia del pozo exploratorio 2, los contenidos de arsénico (As) y manganeso (Mn) son ligeramente altos, siendo aún peligroso el uso inmediato de esas aguas para el consumo humano, pero para dar uso ante su escasez, se realizará tratamiento a través de un sistema de aireación/filtración (solo como propuesta para la presente investigación), lo que influirá en el costo del sistema.

En el análisis microbiológico los altos contenidos de bacterias y coliformes fecales y totales es producto de que el agua subterránea se encuentra con influencia directa en zonas donde no se emplea un correcto sistema de desagüe para el uso poblacional ya que el uso de silos hace que el agua tenga un contacto más directo con dichos coliformes, uno de los tratamientos que se le puede dar para mantener dentro de la categoría A1 es la Ozonización (solo como propuesta para la presente investigación).

Por último, para mantener los valores dentro de la categoría apto para consumo humano se puede utilizar los reactivos de Fenon el cual es una mezcla de peróxido de hidrógeno y de sal de fierro (solo como propuesta para la presente investigación). Como se puede apreciar son diferentes tratamientos que se tiene que realizar para lograr que el agua encontrada en el pozo exploratorio 2, pueda ser apto para consumo humano.

Tabla 14

Análisis fisicoquímico y bacteriológico del pozo exploratorio 3 en el sector Sancuta

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA CALIDAD DE AGUA - PILCUYO-SACUNTA (SAC 03)									
			ANÁLISIS EN LA LOCALIDAD DE SACUNTA SAC 03	Reglamento de Calidad de Agua: Consumo humano D.S. 081-2010 SA 2011	ECA para agua de Categoría 1, A1 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con desinfección	ECA para agua de Categoría 1, A2 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento convencional	ECA para agua de Categoría 1, A3 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento avanzado	EVALUACIÓN	OBSERVACIONES
MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad							
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS									
Conductividad (Laboratorio)	Conductividad (25°C)	µS/cm	265	1500	1500	1600	**	CUMPLE	
pH (Campo)	pH	Unidades de pH	7.5	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	5.5 a 9	5.5 a 9	CUMPLE	
Turbidez	Turbidez	NTU	62.3	5	5	100	**	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2
Color	Color Verdadero	UC	7	15	15	100	200	CUMPLE	
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	86.44	500	500	**	**	CUMPLE	
Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	138	1000	1000	1000	1000	CUMPLE	
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS									
Olor	Olor		ACEPTABLE	ACEPTABLE	NP	NP	NP	CUMPLE	
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA-Aniones									
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruro, Cl	mg/L	24.7	250	250	250	250	CUMPLE	
	Nitratos, (como N)	mg/L	5.7	50	50	50	50	CUMPLE	
	Nitritos, (como N)	mg/L	0.072	3	3	3	**	CUMPLE	
	Sulfatos, SO ₄ -2	mg/L	13.92	250	250	500	**	CUMPLE	
ANÁLISIS DE METALES TOTALES									
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.65	0.2	0.9	0.2	0.2	NO CUMPLE	Cumple con todas la categorías A
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.00022	0.02	0.02	0.02	**	CUMPLE	
	Arsénico (As)	mg/L	0.01005	0.01	0.01	0.01	0.015	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A3
	Bario (Ba)	mg/L	0.0985	0.7	0.7	1	**	CUMPLE	
	Boro (B)	mg/L	0.073	1.5	2.4	2.4	2.4	CUMPLE	
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00013	0.003	0.003	0.005	0.01	CUMPLE	
	Cobres (Cu)	mg/L	0.008	2	2	2	2	CUMPLE	
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00117	0.05	0.05	0.05	0.05	CUMPLE	
	Hierro (Fe)	mg/L	1.03	0.3	0.3	1	5	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A3
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.1605	0.4	0.4	0.4	0.5	CUMPLE	
	Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00173	0.07	0.07	**	**	CUMPLE	
	Niquel (Ni)	mg/L	0.0014	0.02	0.07	**	0.02	CUMPLE	
	Piomo (Pb)	mg/L	0.0123	0.01	0.01	0.05	0.05	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
	Selenio (Se)	mg/L	0.0003	0.01	0.04	0.04	0.05	CUMPLE	
Sodio (Na)	mg/L	14.89	200	NP	NP	NP	CUMPLE		
Zinc (Zn)	mg/L	0.013	3	3	5	5	CUMPLE		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS									
Recuento de Bacterias Heterotróficas	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL	39000	500	500	2000	20000	NO CUMPLE	No cumple con ningún ECA ni reglamento
Numeración de Coliformes Focales	Coliformes Focales	NMP/1000mL	4.5	0	20	2000	20000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000mL	11000	0	50	5000	50000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A3
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000mL	4.5	0	0	**	**	NO CUMPLE	
Huevos y Larvas de Helminintos	Huevos y Larvas de Helminintos	N°Org/L	0	0	NP	NP	NP		
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	N°Org/L	0	0	NP	NP	NP		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VIDA LIBRE (OVL)									
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L	345775	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismo/L	27695	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	

De la tabla 14, se observa que de los resultados obtenidos por el laboratorio, en el análisis fisicoquímico y bacteriológico, en la muestra de agua extraída del pozo

exploratorio 3 en Sancuta, encontró elementos y propiedades que superan los valores o límites máximos permisibles establecidas en la categoría A1; en los análisis físicos químicos, como es la turbidez ($62.3 > 5$) y metales totales como el aluminio (Al) ($0.65 > 0.2$), arsénico ($0.1005 > 0.01$), fierro (Fe) ($1.03 > 0.3$) y plomo (Pb) ($0.0123 > 0.01$); los análisis microbiológicos superan los límites máximos permisibles, la mayoría de las categorías como los valores de organismos de vida libre en las algas y protozoarios establecidas en la categoría A1.

Estos valores encontrados, indican que en el sector Sancuta se presenta sólidos en suspensión, haciendo que el agua encontrada no es de uso inmediato para consumo humano; asimismo los valores de los contenidos de Fierro (Fe) y manganeso (Mn) son altos, siendo peligroso el uso de esas aguas para el consumo humano, pero si se quiere dar uso ante la escasez del agua, se deberá realizar previo tratamiento a través de un sistema de aireación/filtración (solo como propuesta para la presente investigación), lo que influirá en el costo del sistema.

En el análisis microbiológico los altos contenidos de bacterias y coliformes fecales y totales es producto de que el agua subterránea se encuentra con influencia directa en zonas donde no se emplea un correcto sistema de desagüe para el uso poblacional ya que el uso de silos hace que el agua tenga un contacto más directo con dichos coliformes, uno de los tratamientos que se le puede dar para mantener dentro de la categoría A1 es la Ozonización (solo como propuesta para la presente investigación).

Por último, para mantener los valores dentro de la categoría apto para consumo humano se puede utilizar los reactivos de Fenon el cual es una solución de peróxido de hidrógeno y de una sal de hierro (solo como propuesta para la presente investigación).

Como se puede apreciar son diferentes tratamientos que se tiene que realizar para lograr que el agua encontrada en el pozo exploratorio 3 pueda ser apto para consumo humano.

Tabla 15

Análisis fisicoquímico y bacteriológico del pozo exploratorio 1 en el sector Quety

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA CALIDAD DE AGUA - PILCUYO-QUETY-CHQ 01									
			ANÁLISIS EN LA LOCALIDAD DE QUETY CHQ 01	Reglamento de Calidad de Agua: Consumo humano D.S. 081-2010-SA 2011	ECA para agua de Categoría 1, A1 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con desinfección	ECA para agua de Categoría 1, A2 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento convencional	ECA para agua de Categoría 1, A3 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento avanzado	EVALUACIÓN	OBSERVACIONES
MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad							
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS									
Conductividad (Laboratorial)	Conductividad (25°C)	µS/cm	755	1500	1500	1600	**	CUMPLE	
pH (Campo)	pH	Unidades de pH	10.47	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	5.5 a 9	5.5 a 9	NO CUMPLE	No cumple con ningún ECA ni reglamento
Turbidez	Turbidez	NTU	1.69	5	5	100	**	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2
Color	Color Verdadero	UC	4	15	15	100	200	CUMPLE	
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	12.43	500	500	**	**	CUMPLE	
Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	389	1000	1000	1000	1000	CUMPLE	
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS									
Olor	Olor	---	ACEPTABLE	ACEPTABLE	NP	NP	NP	CUMPLE	
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA-Aniones									
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruros, Cl ⁻	mg/L	62.02	250	250	250	250	CUMPLE	
	Nitratos, (como N)	mg/L	20.6	50	50	50	50	CUMPLE	
	Nitritos, (como N)	mg/L	1.676	3	3	3	**	CUMPLE	
	Sulfatos, SO ₄ -2	mg/L	54.91	250	250	500	**	CUMPLE	
ANÁLISIS DE METALES TOTALES									
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.06	0.2	0.9	0.2	0.2	CUMPLE	
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.00048	0.02	0.02	0.02	**	CUMPLE	
	Arsénico (As)	mg/L	0.00399	0.01	0.01	0.01	0.015	CUMPLE	
	Bario (Ba)	mg/L	0.0228	0.7	0.7	1	**	CUMPLE	
	Boro (B)	mg/L	0.144	1.5	2.4	2.4	2.4	CUMPLE	
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00001	0.003	0.003	0.005	0.01	CUMPLE	
	Cobre (Cu)	mg/L	0.004	2	2	2	2	CUMPLE	
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00302	0.05	0.05	0.05	0.05	CUMPLE	
	Hierro (Fe)	mg/L	0.05	0.3	0.3	1	5	CUMPLE	
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.0018	0.4	0.4	0.4	0.5	CUMPLE	
	Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00223	0.07	0.07	**	**	CUMPLE	
	Niquel (Ni)	mg/L	0.0019	0.02	0.07	**	0.02	CUMPLE	
	Piomo (Pb)	mg/L	0.0001	0.01	0.01	0.05	0.05	CUMPLE	
	Selenio (Se)	mg/L	0.0004	0.01	0.04	0.04	0.05	CUMPLE	
Sodio (Na)	mg/L	78.38	200	NP	NP	NP	CUMPLE		
Zinc (Zn)	mg/L	0.009	3	3	5	5	CUMPLE		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS									
Recuento de Bacterias Heterotróficas	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL	14	500	500	2000	20000	CUMPLE	
Numeración de Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	NMP/1000mL	1.8	0	20	2000	20000	NO CUMPLE	Cumple con todas la categorías A
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000mL	1.8	0	50	5000	50000	NO CUMPLE	Cumple con todas la categorías A
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000mL	1.8	0	0	**	**	NO CUMPLE	
Huevos y Larvas de Helmintos	Huevos y larvas de Helmintos	N° Org/L	0	0	NP	NP	NP	-	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	N° Org/L	0	0	NP	NP	NP	-	
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VIDA LIBRE (OVLI)									
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de vida Libre, Nematodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nematodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	

De la tabla 15, se observa que de los resultados obtenidos por el laboratorio, en el análisis fisicoquímico y bacteriológico, encontró que en la muestra de agua extraída del pozo exploratorio 4 en Quety, elementos y propiedades que superan los valores o límites máximos permisibles establecidas en la categoría A1; en los análisis físicos químicos, como es el pH ($10.47 > 9$) y en metales totales todos están dentro de los límites establecidos; en los análisis microbiológicos los valores superan los límites máximos permisibles en la mayoría de las categorías menos en los organismos de vida libre en las algas y protozoarios establecidas en la categoría A1.

Estos valores encontrados, indican que en el sector Quety demuestran que el agua encontrada es muy alcalina, haciendo que el agua encontrada no es de uso inmediato para consumo humano; no así de la presencia de metales pesados que están dentro los límites permisibles, evitando tratamiento alguno al respecto.

En el análisis microbiológico los altos contenidos de bacterias y coliformes fecales y totales es producto de que el agua subterránea se encuentra con influencia directa en zonas donde no se emplea un correcto sistema de desagüe para el uso poblacional ya que el uso de silos hace que el agua tenga un contacto más directo con dichos coliformes, uno de los tratamientos que se le puede dar para mantener dentro de la categoría A1 es la Ozonización (solo como propuesta para la presente investigación).

Por último, para mantener los valores dentro de la categoría apto para consumo humano se puede utilizar los reactivos de Fenon el cual es una solución de peróxido de hidrógeno y de una sal de hierro (solo como propuesta para la presente investigación).

Como se puede apreciar son diferentes tratamientos que se tiene que realizar para lograr que el agua encontrada en el pozo exploratorio 4 en Quety pueda ser apto para consumo humano.

Tabla 16

Análisis fisicoquímico y bacteriológico del pozo exploratorio 2 en el sector Quety

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA CALIDAD DE AGUA - PILCUYO-QUETY-CHQ 02									
			ANÁLISIS EN LA LOCALIDAD DE QUETY CHQ 02	Reglamento de Calidad de Agua: Consumo humano D.S. 081-2010-SA 2011	ECA para agua de Categoría 1, A1 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con desinfección	ECA para agua de Categoría 1, A2 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento convencional	ECA para agua de Categoría 1, A3 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento avanzado	EVALUACIÓN	OBSERVACIONES
MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad							
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS									
Conductividad (Laboratorio)	Conductividad (25°C)	µS/cm	267	1500	1500	1600	**	CUMPLE	
pH (Campo)	pH	Unidades de pH	8	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	5.5 a 9	5.5 a 9	CUMPLE	
Turbidez	Turbidez	NTU	2.52	5	5	100	**	CUMPLE	
Color	Color Verdadero	UC	4	15	15	100	200	CUMPLE	
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	78.58	500	500	**	**	CUMPLE	
Sólidos Totales	Sólidos Totales	mg/L	139	1000	1000	1000	1000	CUMPLE	
Sólidos Disueltos	Sólidos Disueltos	mg/L							
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS									
Olor	Olor	---	ACEPTABLE	ACEPTABLE	NP	NP	NP	CUMPLE	
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA-Aniones									
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruros, Cl ⁻	mg/L	40.01	250	250	250	250	CUMPLE	
	Nitratos, (como N)	mg/L	108	50	50	50	50	NO CUMPLE	No cumple con ninguna
	Nitritos, (como N)	mg/L	0.018	3	3	3	**	CUMPLE	
	Sulfatos, SO ₄ -2	mg/L	24.34	250	250	500	**	CUMPLE	
ANÁLISIS DE METALES TOTALES									
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.02	0.2	0.9	0.2	0.2	CUMPLE	
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.0014	0.02	0.02	0.02	**	CUMPLE	
	Arsénico (As)	mg/L	0.00189	0.01	0.01	0.01	0.015	CUMPLE	
	Bario (Ba)	mg/L	0.0665	0.7	0.7	1	**	CUMPLE	
	Boro (B)	mg/L	0.049	1.5	2.4	2.4	2.4	CUMPLE	
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.0001	0.003	0.003	0.005	0.01	CUMPLE	
	Cobre (Cu)	mg/L	0.001	2	2	2	2	CUMPLE	
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00076	0.05	0.05	0.05	0.05	CUMPLE	
	Hierro (Fe)	mg/L	0.01	0.3	0.3	1	5	CUMPLE	
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.0021	0.4	0.4	0.4	0.5	CUMPLE	
	Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00028	0.07	0.07	**	**	CUMPLE	
	Níquel (Ni)	mg/L	0.0003	0.02	0.07	**	0.02	CUMPLE	
	Plomo (Pb)	mg/L	0.0002	0.01	0.01	0.05	0.05	CUMPLE	
	Selenio (Se)	mg/L	0.0001	0.01	0.04	0.04	0.05	CUMPLE	
Sodio (Na)	mg/L	11.77	200	NP	NP	NP	CUMPLE		
Zinc (Zn)	mg/L	0.085	3	3	5	5	CUMPLE		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS									
Recuento de Bacterias Heterotróficas	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL		500	500	2000	20000		
Numeración de Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	NMP/1000mL		0	20	2000	20000		
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000mL		0	50	5000	50000		
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000mL		0	0	**	**		
Huevos y Larvas de Helmintos	Huevos y larvas de Helmintos	N° Org/L		0	NP	NP	NP		
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	N° Org/L		0	NP	NP	NP		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VILDA LIBRE (OVL)									
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L		0	0	5000000	5000000		
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L		0	0	5000000	5000000		
Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L		0	0	5000000	5000000		
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismo/L		0	0	5000000	5000000		
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismo/L		0	0	5000000	5000000		

De la tabla 16, se observa que de los resultados obtenidos por el laboratorio, en el análisis fisicoquímico y bacteriológico en la muestra de agua extraída del pozo exploratorio 5 en Chaullacamani Quety, un solo elemento supera los valores o límites máximos permisibles establecidas en la categoría A1; en los análisis en cromatografía, como es el nitrato ($108 > 50$) y en metales totales todos están dentro de los límites establecidos; en los análisis microbiológicos no se pudieron determinar dichos para su comparación respectiva.

Estos valores encontrados, indican que en el sector Quety demuestran que el agua encontrada tiene contaminación por compuestos nitrogenados presente en los abonos orgánicos como la urea, que es muy usada en actividades agrícolas como abono, que son arrastrados por escorrentías superficiales en periodos lluviosos, infiltrándose en el subsuelo, contaminando las aguas que mayormente se encuentran en estratos de la zona sub-superficial, haciendo que el agua encontrada no es de uso inmediato para consumo humano; no así de la presencia de metales pesados que están dentro los límites permisibles, evitando tratamiento alguno al respecto.

En el análisis microbiológico los altos contenidos de bacterias y coliformes fecales y totales es producto de que el agua subterránea se encuentra con influencia directa en zonas donde no se emplea un correcto sistema de desagüe para el uso poblacional ya que el uso de silos hace que el agua tenga un contacto más directo con dichos coliformes, uno de los tratamientos que se le puede dar para mantener dentro de la categoría A1 es la Ozonización (solo como propuesta para la presente investigación).

Por último, para mantener los valores dentro de la categoría apto para consumo humano se puede utilizar los reactivos de Fenon el cual es una solución de peróxido de hidrógeno y de una sal de hierro (solo como propuesta para la presente investigación).

Como se puede apreciar son diferentes tratamientos que se tiene que realizar para lograr que el agua encontrada en el pozo exploratorio 5 en Chaullacamani Quety pueda ser apto para consumo humano.

Tabla 17

Análisis fisicoquímico y bacteriológico del pozo exploratorio 1 en el sector Alfonso Ugarte

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA - PILCUYO-ALFONSO UGARTE-AU 01									
			ANÁLISIS EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE AU 01	Reglamento de Calidad de Agua: Consumo humano D.S. 081-2010-SA 2011	ECA para agua de Categoría 1, A1 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con desinfección	ECA para agua de Categoría 1, A2 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento convencional	ECA para agua de Categoría 1, A3 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento avanzado	EVALUACIÓN	OBSERVACIONES
MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad							
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS									
Conductividad (Laboratorio)	Conductividad (25°C)	µS/cm	117.5	1500	1500	1600	**	CUMPLE	
pH (Campo)	pH	Unidades de pH	7.4	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	5.5 a 9	5.5 a 9	CUMPLE	
Turbidez	Turbidez	NTU	3.36	5	5	100	**	CUMPLE	
Color	Color Verdadero	UC	4	15	15	100	200	CUMPLE	
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	35.95	500	500	**	**	CUMPLE	
Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	61	1000	1000	1000	1000	CUMPLE	
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS									
Olor	Olor	--	ACEPTABLE	ACEPTABLE	NP	NP	NP	CUMPLE	
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA-Aniones									
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruros, Cl ⁻	mg/L	0.27	250	250	250	250	CUMPLE	
	Nitratos, (como N)	mg/L	1.3	50	50	50	50	CUMPLE	
	Nitritos, (como N)	mg/L	0.001	3	3	3	**	CUMPLE	
	Sulfatos, SO ₄ -2	mg/L	2.49	250	250	500	**	CUMPLE	
ANÁLISIS DE METALES TOTALES									
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.07	0.2	0.9	0.2	0.2	CUMPLE	
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.00006	0.02	0.02	0.02	**	CUMPLE	
	Arsénico (As)	mg/L	0.02769	0.01	0.01	0.01	0.015	NO CUMPLE	No cumple con ninguna
	Bario (Ba)	mg/L	0.0425	0.7	0.7	1	**	CUMPLE	
	Boro (B)	mg/L	0.044	1.5	2.4	2.4	2.4	CUMPLE	
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00002	0.003	0.003	0.005	0.01	CUMPLE	
	Cobre (Cu)	mg/L	0.001	2	2	2	2	CUMPLE	
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00015	0.05	0.05	0.05	0.05	CUMPLE	
	Hierro (Fe)	mg/L	0.62	0.3	0.3	1	5	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.1873	0.4	0.4	0.4	0.5	CUMPLE	
	Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00193	0.07	0.07	**	**	CUMPLE	
	Níquel (Ni)	mg/L	0.0002	0.02	0.07	**	0.02	CUMPLE	
	Plomo (Pb)	mg/L	0.001	0.01	0.01	0.05	0.05	CUMPLE	
	Selenio (Se)	mg/L	0.0001	0.01	0.04	0.04	0.05	CUMPLE	
Sodio (Na)	mg/L	7.02	200	NP	NP	NP	NP	CUMPLE	
Zinc (Zn)	mg/L	0.01	3	3	5	5	CUMPLE		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS									
Recuento de Bacterias Heterotróficas	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL	390	500	500	2000	20000	CUMPLE	
Numeración de Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	NMP/1000mL	1.8	0	20	2000	20000	NO CUMPLE	Cumple con todas la categorías A
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000mL	170	0	50	5000	50000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000mL	1.8	0	0	**	**	NO CUMPLE	
Huevos y larvas de Helminthos	Huevos y Larvas de Helminthos	N° Org/L	0	0	NP	NP	NP	-	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	N° Org/L	0	0	NP	NP	NP	-	
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VIDA LIBRE (OVL)									
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L	191875	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismo/L	92120	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Ratíferos	Organismos de Vida Libre, Ratíferos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	

De la tabla 17, se observa que de los resultados obtenidos por el laboratorio, en el análisis fisicoquímico y bacteriológico, en la muestra de agua extraída del pozo exploratorio 6 en el sector Alfonso Ugarte, todos los elementos y características están dentro de los límites máximos permisibles y en metales totales como el arsénico (As)(0.02769>0.01) y fierro (Fe)(0.62>0.3) superan los límites máximos permisibles; los análisis microbiológicos superan los límites máximos permisibles, la mayoría de las categorías como los valores de organismos de vida libre en las algas y protozoarios establecidas en la categoría A1.

Estos valores encontrados, indican que en el sector Alfonso Ugarte, los valores de los contenidos de arsénico (As) y fierro (Fe) son altos, siendo peligroso el uso de esas aguas para el consumo humano, pero si se quiera dar uso ante la escasez del agua, se requiera realizar previo tratamiento a través de un sistema de aireación/filtración (solo como propuesta para la presente investigación), lo que influirá en el costo del sistema.

En el análisis microbiológico los altos contenidos de bacterias y coliformes fecales y totales es producto de que el agua subterránea se encuentra con influencia directa en zonas donde no se emplea un correcto sistema de desagüe para el uso poblacional ya que el uso de silos hace que el agua tenga un contacto más directo con dichos coliformes, uno de los tratamientos que se le puede dar para mantener dentro de la categoría A1 es la Ozonización (solo como propuesta para la presente investigación).

Por último, para mantener los valores dentro de la categoría apto para consumo humano se puede utilizar los reactivos de Fenon el cual es una solución de peróxido de hidrógeno y de una sal de hierro (solo como propuesta para la presente investigación).

Como se puede apreciar son diferentes tratamientos que se tiene que realizar para lograr que el agua encontrada en el pozo exploratorio 6 pueda ser apto para consumo humano.

Tabla 18

Análisis fisicoquímico y bacteriológico del pozo existente en el sector Alfonso Ugarte

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA CALIDAD DE AGUA - PILCUYO-ALFONSO UGARTE-AU 02									
MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad	ANÁLISIS EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE AU 02	Reglamento de Calidad de Agua: Consumo humano D.S. 081-2010-SA 2011	ECA para agua de Categoría 1, A1 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con desinfección	ECA para agua de Categoría 1, A2 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento convencional	ECA para agua de Categoría 1, A3 D.S. 015-2015-MINAM Potabilizada con Tratamiento avanzado	EVALUACIÓN	OBSERVACIONES
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS									
Conductividad (Laboratorio)	Conductividad (25°C)	µS/cm	131.6	1500	1500	1600	**	CUMPLE	
pH (Campo)	pH	Unidades de pH	7.5	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	5.5 a 9	5.5 a 9	CUMPLE	
Turbidez	Turbidez	NTU	0.87	5	5	100	**	CUMPLE	
Color	Color Verdadero	UC	4	15	15	100	200	CUMPLE	
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	42.01	500	500	**	**	CUMPLE	
Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	67	1000	1000	1000	1000	CUMPLE	
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS									
Olor	Olor	---	ACEPTABLE	ACEPTABLE	NP	NP	NP	CUMPLE	
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA-Aniones									
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruros, Cl-	mg/L	2.7	250	250	250	250	CUMPLE	
	Nitratos, (como N)	mg/L	0.4	50	50	50	50	CUMPLE	
	Nitritos, (como N)	mg/L	0.001	3	3	3	**	CUMPLE	
	Sulfatos, SO ₄ -2	mg/L	5.16	250	250	500	**	CUMPLE	
ANÁLISIS DE METALES TOTALES									
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.01	0.2	0.9	0.2	0.2	CUMPLE	
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.00004	0.02	0.02	0.02	**	CUMPLE	
	Arsénico (As)	mg/L	0.02819	0.01	0.01	0.01	0.015	NO CUMPLE	No cumple con ninguna categoría
	Bario (Ba)	mg/L	0.0515	0.7	0.7	1	**	CUMPLE	
	Boro (B)	mg/L	0.037	1.5	2.4	2.4	2.4	CUMPLE	
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00001	0.003	0.003	0.005	0.01	CUMPLE	
	Cobre (Cu)	mg/L	0.001	2	2	2	2	CUMPLE	
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00009	0.05	0.05	0.05	0.05	CUMPLE	
	Hierro (Fe)	mg/L	0.36	0.3	0.3	1	5	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.5657	0.4	0.4	0.4	0.5	NO CUMPLE	No cumple con ninguna categoría
	Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0011	0.07	0.07	**	**	CUMPLE	
	Níquel (Ni)	mg/L	0.0001	0.02	0.07	**	0.02	CUMPLE	
	Plomo (Pb)	mg/L	0.0001	0.01	0.01	0.05	0.05	CUMPLE	
	Selenio (Se)	mg/L	0.0001	0.01	0.04	0.04	0.05	CUMPLE	
Sodio (Na)	mg/L	6.92	200	NP	NP	NP	CUMPLE		
Zinc (Zn)	mg/L	0.01	3	3	5	5	CUMPLE		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS									
Recuento de Bacterias Heterotróficas	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL	2	500	500	2000	20000	CUMPLE	
Numeración de Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	NMP/1000mL	1.8	0	20	2000	20000	NO CUMPLE	Cumple con todas la categorías A
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000mL	1.8	0	50	5000	50000	NO CUMPLE	Cumple con todas la categorías A
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000mL	1.8	0	0	**	**	NO CUMPLE	
Huevos y Larvas de Helminthos	Huevos y Larvas de Helminthos	N° Org/L	0	0	NP	NP	NP	-	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	N° Org/L	0	0	NP	NP	NP	-	
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VILDA LIBRE (OVL)									
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L	12310	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismo/L	62595	0	0	5000000	5000000	NO CUMPLE	Cumple con la categoría A2 y A3
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismo/L	0	0	0	5000000	5000000	CUMPLE	

De la tabla 18, se observa que de los resultados obtenidos por el laboratorio, en el análisis fisicoquímico y bacteriológico, que en la muestra de agua extraída del pozo existente en el barrio Alfonso Ugarte, los elementos y propiedades que superan los valores o límites máximos permisibles establecidas en la categoría A1; son metales totales como el arsénico ($0.02819 > 0.01$), fierro (Fe) ($0.36 > 0.3$) y manganeso (Mn) ($0.5657 > 0.4$); los análisis microbiológicos superan los límites máximos permisibles, la mayoría de las categorías como los valores de organismos de vida libre en las algas y protozoarios establecidas en la categoría A1.

Estos valores encontrados, indican que, en el sector Alfonso Ugarte, los valores de los contenidos de arsénico (As), fierro (Fe) y manganeso (Mn) son relativamente altos, siendo poco peligroso el uso de esas aguas para el consumo humano, pero si se quiera dar uso ante la escasez del agua, se necesita realizar previo tratamiento a través de un sistema de aireación/filtración (solo como propuesta para la presente investigación), lo que influirá en el costo del sistema.

En el análisis microbiológico los altos contenidos de bacterias y coliformes fecales y totales es producto de que el agua subterránea se encuentra con influencia directa en zonas donde no se emplea un correcto sistema de desagüe para el uso poblacional ya que el uso de silos hace que el agua tenga un contacto más directo con dichos coliformes, uno de los

tratamientos que se le puede dar para mantener dentro de la categoría A1 es la Ozonización (solo como propuesta para la presente investigación).

Por último, para mantener los valores dentro de la categoría apto para consumo humano se puede utilizar los reactivos de Fenon el cual es una solución de peróxido de hidrógeno y de una sal de hierro (solo como propuesta para la presente investigación).

Como se puede apreciar son diferentes tratamientos que se tiene que realizar para lograr que el agua encontrada en el pozo existente en el barrio Alfonso Ugarte pueda ser apto para consumo humano.

Evaluando los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados a las muestras de agua de los pozos exploratorios, de los tres sectores, de las tablas del 12 al 18, en el sector de Sancuta, en el primer pozo exploratorio

la turbidez es mayor al valor máximo permisible: $7 > 5$ y en metales totales superan el valor máximo permisible, el fierro (Fe) ($0.97 > 0.3$) y manganeso (Mn) ($0.9 > 0.4$); en el segundo, los metales totales como el arsénico (As) ($0.02414 > 0.015$) y Manganeso (Mn) ($0.8146 > 0.5$); y en el tercero, la turbidez ($62.3 > 5$) y metales totales como el aluminio (Al) ($0.65 > 0.2$), arsénico ($0.1005 > 0.01$), fierro (Fe) ($1.03 > 0.3$) y plomo (Pb) ($0.0123 > 0.01$); en el sector Quety, en el primer pozo exploratorio, solamente el pH indica una tendencia a la alcalinidad ($10.47 > 9$), en el segundo en los análisis en cromatografía, es el nitrato que supera el valor máximo permisible ($108 > 50$) y en metales totales en ambos pozos todos están dentro de los límites establecidos; y por último en el sector de Alfonso Ugarte, en el primer pozo en metales totales ligeramente superan los límites permisibles, como el arsénico (As) ($0.02769 > 0.01$) y fierro (Fe) ($0.62 > 0.3$), en el pozo existente el arsénico ($0.02819 > 0.01$), fierro (Fe) ($0.36 > 0.3$) y manganeso (Mn) ($0.5657 > 0.4$).

Al respecto de los valores encontrados de algunos metales pesados, Calcina (2017), señala que para conocer la evolución de la concentración de arsénico (As) dentro de un acuífero, se debe conocer la movilidad que dicho elemento tiene, conocer su reacción al movimiento de las aguas subterráneas y su correlación con las fases sólidas del acuífero, igualmente Apaza, (2020), evaluando muestras de aguas subterráneas de pozos en la ciudad de Juliaca, con normas APHA, AWWA, y usando software ArcGIS en la elaboración de mapas de disgregación de contaminantes, encontró altas concentraciones de arsénico en las aguas subterráneas, en todos análisis, superando el 0.010 mg/l , que es límite máximo permisible; también encontró la presencia de bacterias *Escherichia coli* y de coliformes termotolerantes, en un 82% del total de muestras analizadas, presentando dureza en el 50% de esas muestras. Al respecto de los valores encontrados, elementos como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb), considerados metales pesados, son tóxicos y causan perjuicios a la salud, como lo señalan (Chaturvedi *et al.*, 2019) y (Kole & Vittal, 2013) en sus investigaciones efectuadas.

4.2.2 Tratamiento de datos: valores fisicoquímicos

Para el tratamiento de los valores obtenidos en los análisis físicos-químicos, se procedió a agruparlos y así aplicar la metodología de Análisis de Componentes

Principales (PCA), procediendo primeramente a reclasificar los valores de la forma que se indican en las tablas 19, 20 y 21 mostradas a continuación:

Tabla 19

Agrupación de los valores de los análisis fisicoquímicos aplicando la metodología de Análisis de Componentes Principales (PCA)

UNIDA D	Conductivi dad	pH	Turbidez	Color	Dureza Total	Sólidos Totales Disueltos	Cloruros	Nitratos
SAC 01	436.00000	7.50000	7.50000	9.00000	159.14000	227.00000	21.26000	0.00300
SAC 02	375.00000	7.30000	0.94000	4.00000	127.64000	194.00000	31.94000	0.90000
SAC 03	265.00000	7.50000	62.30000	7.00000	86.44000	138.00000	24.70000	5.70000
CHQ 01	755.00000	10.47000	1.69000	4.00000	12.43000	389.00000	62.02000	20.60000
CHQ02	267.00000	8.00000	2.52000	4.00000	78.58000	139.00000	40.01000	108.00000
AU 01	117.50000	7.40000	3.36000	4.00000	35.95000	61.00000	0.27000	1.30000
AU 02	131.60000	7.50000	0.87000	4.00000	42.01000	67.00000	2.70000	0.40000

Tabla 20

Agrupación de los valores de los análisis fisicoquímicos aplicando la metodología de Análisis de Componentes Principales (PCA)

UNIDA D	Nitrito s	Sulfatos	Alumini o(Al)	Antimonio (Sb)	Arsénico (As)	Bario (Ba)	Boro (B)	Cadmio (Cd)	Cobre (Cu)
SAC 01	0.00100	1.49000	0.11000	0.00004	0.06805	0.20860	0.10200	0.00001	0.00100
SAC 02	0.00100	7.42000	0.06000	0.00007	0.02414	0.11230	0.06400	0.00001	0.00100
SAC 03	0.07200	13.92000	0.65000	0.00022	0.01005	0.09850	0.07300	0.00013	0.00800
CHQ 01	1.67600	54.91000	0.06000	0.00048	0.00399	0.02280	0.14400	0.00001	0.00400
CHQ02	0.01800	24.34000	0.02000	0.00014	0.00189	0.06650	0.04900	0.00001	0.00100
AU 01	0.00100	2.49000	0.07000	0.00006	0.02769	0.04250	0.04400	0.00002	0.00100
AU 02	0.00100	5.16000	0.01000	0.00004	0.02819	0.05150	0.03700	0.00001	0.00100

Tabla 21

Agrupación de los valores de los análisis físicos químicos aplicando la metodología de Análisis de Componentes Principales (PCA)

UNIDA D	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Molibdeno (Mo)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Sodio (Na)	Zinc (Zn)
SAC 01	0.00118	0.97000	0.90080	0.00036	0.00080	0.00040	0.00010	22.85000	0.01100
SAC 02	0.00063	0.19000	0.81460	0.00119	0.00070	0.00040	0.00010	20.10000	0.00700
SAC 03	0.00117	1.03000	0.16050	0.00173	0.00140	0.01230	0.00030	14.89000	0.01300
CHQ 01	0.00302	0.05000	0.00180	0.00223	0.00190	0.00010	0.00040	78.38000	0.00900
CHQ02	0.00076	0.01000	0.00210	0.00028	0.00030	0.00020	0.00010	11.77000	0.09500
AU 01	0.00015	0.62000	0.18730	0.00193	0.00020	0.00100	0.00010	7.02000	0.01000
AU 02	0.00009	0.36000	0.56570	0.00110	0.00010	0.00010	0.00010	6.92000	0.01000

Identificado los valores a través de la metodología de análisis de los componentes principales (PCA), reducimos a valores necesarios, para compararlos directamente con los obtenidos en el diagrama de Piper y en los Sondajes Eléctricos Verticales (SEV); habiéndose utilizado el programa SPSS, obteniéndose los valores que se presentan en la tabla 22, donde se muestra los estadísticos descriptivos, obteniéndose valores de media, desviación típica y número de análisis efectuados.

Tabla 22

Estadísticos descriptivos obtenidos con el programa SPSS

Estadísticos Descriptivos			
Elemento analizado	Media	Desviación	N de análisis
Conductividad	335.3000000	218.48042628	7
pH	7.9528571	1.13176432	7
Turbidez	11.3114286	22.59807398	7
Color	5.1428571	2.03540098	7
Dureza Total	77.4557143	52.40902112	7
Sólidos Totales Disueltos	173.5714286	112.67335849	7
Cloruros	26.1285714	21.43971737	7
Nitratos	19.5575714	39.67791117	7
Nitritos	.2528571	.62808318	7
Sulfatos	15.6757143	19.02330225	7
Aluminio (Al)	.1400000	.22730303	7
Antimonio (Sb)	.0001500	.00015948	7
Arsénico (As)	.0234286	.02255794	7
Bario (Ba)	.0861000	.06236401	7
Boro (B)	.0732857	.03802505	7
Cadmio (Cd)	.0000286	.00004488	7
Cobre (Cu)	.0024286	.00269921	7
Cromo (Cr)	.0010000	.00099052	7
Hierro (Fe)	.4614286	.42112661	7
Manganeso (Mn)	.3761143	.37983457	7
Molibdeno (Mo)	.0012600	.00075406	7
Níquel (Ni)	.0007714	.00066762	7
Plomo (Pb)	.0020714	.00452096	7
Selenio (Se)	.0001714	.00012536	7
Sodio (Na)	23.1328571	25.10333691	7
Zinc (Zn)	.0221429	.03217882	7

Determinados los estadísticos descriptivos, en base a ellos se establece las matrices de correlaciones como se muestra en las tablas 23 a 29:

Tabla 23

Matriz de correlación entre los parámetros fisicoquímicos: pH, turbidez y color

Matriz de correlaciones ^{a,b}					
	Conductividad	pH	Turbidez	Color	
Correlación			ez		
	Conductividad	1.000	.826	-.134	.110
	pH	.826	1.000	-.196	-.262
	Turbidez	-.134	-.196	1.000	.485
	Color	.110	-.262	.485	1.000
	Dureza Total	-.022	-.558	.133	.680
	Sólidos Totales Disueltos	1.000	.823	-.130	.117
	Cloruros	.867	.790	-.045	-.109
	Nitratos	.010	.196	-.164	-.288
	Nitritos	.846	.981	-.148	-.235
	Sulfatos	.772	.959	-.073	-.328
	Aluminio (Al)	-.086	-.178	.996	.497
	Antimonio (Sb)	.775	.923	.166	-.175
	Arsénico (As)	-.106	-.451	-.185	.664
	Bario (Ba)	.047	-.469	.164	.853
	Boro (B)	.956	.785	.023	.307
	Cadmio (Cd)	-.180	-.196	.992	.386
	Cobre (Cu)	.217	.239	.896	.290
	Cromo (Cr)	.944	.898	.080	.117
	Hierro (Fe)	-.281	-.493	.658	.826
	Manganeso (Mn)	-.088	-.530	-.216	.426
	Molibdeno (Mo)	.237	.457	.232	-.336
	Níquel (Ni)	.826	.703	.415	.249
	Plomo (Pb)	-.172	-.207	.995	.404
	Selenio (Se)	.681	.781	.430	.019
	Sodio (Na)	.948	.942	-.153	-.085
	Zinc (Zn)	-.153	.007	-.128	-.212

Tabla 24

Matriz de correlación entre dureza total, solidos totales disueltos, cloruros, y nitratos

Matriz de correlaciones ^{a,b}					
		Dureza total	Sólidos totales disueltos	Cloruro s	Nitratos
Correlación	Conductividad	-.022	1.000	.867	.010
	pH	-.558	.823	.790	.196
	Turbidez	.133	-.130	-.045	-.164
	Color	.680	.117	-.109	-.288
	Dureza total	1.000	-.015	-.079	-.095
	Sólidos totales disueltos	-.015	1.000	.867	.012
	Cloruros	-.079	.867	1.000	.430
	Nitratos	-.095	.012	.430	1.000
	Nitritos	-.548	.842	.746	.015
	Sulfatos	-.537	.769	.874	.377
	Aluminio (Al)	.150	-.083	-.025	-.220
	Antimonio (Sb)	-.523	.773	.808	.155
	Arsénico (As)	.628	-.102	-.487	-.520
	Bario (Ba)	.947	.054	-.133	-.229
	Boro (B)	-.021	.957	.739	-.136
	Cadmio (Cd)	.047	-.178	-.074	-.173
	Cobre (Cu)	-.156	.218	.281	-.146
	Cromo (Cr)	-.213	.944	.857	.063
	Hierro (Fe)	.425	-.276	-.510	-.539
	Manganeso (Mn)	.736	-.086	-.366	-.543
	Molibdeno (Mo)	-.671	.232	.113	-.459
	Níquel (Ni)	-.105	.826	.734	-.158
	Plomo (Pb)	.079	-.169	-.067	-.175
	Selenio (Se)	-.449	.679	.650	-.082
	Sodio (Na)	-.331	.946	.810	-.028
	Zinc (Zn)	.012	-.150	.270	.981

Tabla 25

Matriz de correlación entre Nitritos, sulfatos, aluminio y antimonio

		Matriz de correlaciones ^{a,b}			
		Nitritos	Sulfatos	Aluminio (Al)	Antimonio (Sb)
Correlación	Conductividad	.846	.772	-.086	.775
	pH	.981	.959	-.178	.923
	Turbidez	-.148	-.073	.996	.166
	Color	-.235	-.328	.497	-.175
	Dureza total	-.548	-.537	.150	-.523
	Sólidos totales disueltos	.842	.769	-.083	.773
	Cloruros	.746	.874	-.025	.808
	Nitratos	.015	.377	-.220	.155
	Nitritos	1.000	.917	-.117	.928
	Sulfatos	.917	1.000	-.065	.951
	Aluminio (Al)	-.117	-.065	1.000	.188
	Antimonio (Sb)	.928	.951	.188	1.000
	Arsénico (As)	-.398	-.649	-.162	-.603
	Bario (Ba)	-.449	-.518	.182	-.464
	Boro (B)	.824	.692	.073	.763
	Cadmio (Cd)	-.143	-.067	.988	.175
	Cobre (Cu)	.295	.342	.905	.573
	Cromo (Cr)	.909	.868	.115	.915
	Hierro (Fe)	-.414	-.563	.671	-.320
	Manganeso (Mn)	-.453	-.648	-.188	-.637
	Molibdeno (Mo)	.578	.406	.278	.589
	Níquel (Ni)	.766	.707	.460	.859
	Plomo (Pb)	-.153	-.076	.992	.165
	Selenio (Se)	.827	.798	.456	.942
	Sodio (Na)	.970	.871	-.110	.886
	Zinc (Zn)	-.177	.191	-.191	-.027

Tabla 26

Matriz de correlación entre arsénico, bario, boro, cadmio

Matriz de correlaciones^{a,b}		Arsénico (As)	Bario (Ba)	Boro (B)	Cadmio (Cd)
Correlación	Conductividad	-.106	.047	.956	-.180
	pH	-.451	-.469	.785	-.196
	Turbidez	-.185	.164	.023	.992
	Color	.664	.853	.307	.386
	Dureza total	.628	.947	-.021	.047
	Sólidos totales disueltos	-.102	.054	.957	-.178
	Cloruros	-.487	-.133	.739	-.074
	Nitratos	-.520	-.229	-.136	-.173
	Nitritos	-.398	-.449	.824	-.143
	Sulfatos	-.649	-.518	.692	-.067
	Aluminio (Al)	-.162	.182	.073	.988
	Antimonio (Sb)	-.603	-.464	.763	.175
	Arsénico (As)	1.000	.784	.025	-.257
	Bario (Ba)	.784	1.000	.127	.063
	Boro (B)	.025	.127	1.000	-.032
	Cadmio (Cd)	-.257	.063	-.032	1.000
	Cobre (Cu)	-.416	-.102	.341	.900
	Cromo (Cr)	-.273	-.108	.952	.045
	Hierro (Fe)	.576	.595	-.022	.616
	Manganeso (Mn)	.818	.744	-.089	-.271
	Molibdeno (Mo)	-.413	-.610	.310	.311
	Níquel (Ni)	-.272	-.019	.877	.388
	Plomo (Pb)	-.242	.091	-.026	.999
	Selenio (Se)	-.501	-.352	.740	.436
	Sodio (Na)	-.259	-.237	.919	-.170
	Zinc (Zn)	-.415	-.126	-.283	-.141

Tabla 27

Matriz de correlación entre cobre, cromo, hierro, manganeso

Matriz de correlaciones^{a,b}		Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)
Correlación	Conductividad	.217	.944	-.281	-.088
	pH	.239	.898	-.493	-.530
	Turbidez	.896	.080	.658	-.216
	Color	.290	.117	.826	.426
	Dureza total	-.156	-.213	.425	.736
	Sólidos totales disueltos	.218	.944	-.276	-.086
	Cloruros	.281	.857	-.510	-.366
	Nitratos	-.146	.063	-.539	-.543
	Nitritos	.295	.909	-.414	-.453
	Sulfatos	.342	.868	-.563	-.648
	Aluminio (Al)	.905	.115	.671	-.188
	Antimonio (Sb)	.573	.915	-.320	-.637
	Arsénico (As)	-.416	-.273	.576	.818
	Bario (Ba)	-.102	-.108	.595	.744
	Boro (B)	.341	.952	-.022	-.089
	Cadmio (Cd)	.900	.045	.616	-.271
	Cobre (Cu)	1.000	.452	.403	-.428
	Cromo (Cr)	.452	1.000	-.190	-.347
	Hierro (Fe)	.403	-.190	1.000	.311
	Manganeso (Mn)	-.428	-.347	.311	1.000
	Molibdeno (Mo)	.508	.383	-.003	-.441
	Níquel (Ni)	.720	.914	.070	-.274
	Plomo (Pb)	.897	.046	.622	-.247
	Selenio (Se)	.781	.859	-.031	-.544
	Sodio (Na)	.266	.955	-.355	-.283
	Zinc (Zn)	-.198	-.108	-.430	-.448

Tabla 28

Matriz de correlaciones entre molibdeno, níquel, plomo, selenio

Matriz de correlaciones^{a,b}		Molibdeno (Mo)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)
Correlación	Conductividad	.237	.826	-.172	.681
	pH	.457	.703	-.207	.781
	Turbidez	.232	.415	.995	.430
	Color	-.336	.249	.404	.019
	Dureza total	-.671	-.105	.079	-.449
	Sólidos totales disueltos	.232	.826	-.169	.679
	Cloruros	.113	.734	-.067	.650
	Nitratos	-.459	-.158	-.175	-.082
	Nitritos	.578	.766	-.153	.827
	Sulfatos	.406	.707	-.076	.798
	Aluminio (Al)	.278	.460	.992	.456
	Antimonio (Sb)	.589	.859	.165	.942
	Arsénico (As)	-.413	-.272	-.242	-.501
	Bario (Ba)	-.610	-.019	.091	-.352
	Boro (B)	.310	.877	-.026	.740
	Cadmio (Cd)	.311	.388	.999	.436
	Cobre (Cu)	.508	.720	.897	.781
	Cromo (Cr)	.383	.914	.046	.859
	Hierro (Fe)	-.003	.070	.622	-.031
	Manganeso (Mn)	-.441	-.274	-.247	-.544
	Molibdeno (Mo)	1.000	.515	.291	.679
	Níquel (Ni)	.515	1.000	.392	.925
	Plomo (Pb)	.291	.392	1.000	.428
	Selenio (Se)	.679	.925	.428	1.000
	Sodio (Na)	.468	.824	-.172	.790
	Zinc (Zn)	-.574	-.303	-.141	-.238

Tabla 29

Matriz de correlaciones entre sodio, zinc

Matriz de correlaciones^{a,b}		Sodio (Na)	Zinc (Zn)
Correlación	Conductividad	.948	-.153
	pH	.942	.007
	Turbidez	-.153	-.128
	Color	-.085	-.212
	Dureza total	-.331	.012
	Sólidos totales disueltos	.946	-.150
	Cloruros	.810	.270
	Nitratos	-.028	.981
	Nitritos	.970	-.177
	Sulfatos	.871	.191
	Aluminio (Al)	-.110	-.191
	Antimonio (Sb)	.886	-.027
	Arsénico (As)	-.259	-.415
	Bario (Ba)	-.237	-.126
	Boro (B)	.919	-.283
	Cadmio (Cd)	-.170	-.141
	Cobre (Cu)	.266	-.198
	Cromo (Cr)	.955	-.108
	Hierro (Fe)	-.355	-.430
	Manganeso (Mn)	-.283	-.448
	Molibdeno (Mo)	.468	-.574
	Níquel (Ni)	.824	-.303
	Plomo (Pb)	-.172	-.141
	Selenio (Se)	.790	-.238
	Sodio (Na)	1.000	-.214
	Zinc (Zn)	-.214	1.000

La matriz de correlaciones entre los componentes o parámetros fisicoquímicos, nos da el significado de cada uno de ellos; siendo necesario haberla realizada ya que nos permitió analizar y ver que todos los valores se correlacionen entre sí.

Seguidamente establecimos la comunalidad entre ellos, lo cual está asociada a una proporción entre la variable explicada con los factores considerados, las cuales se muestra en la tabla 30.

Tabla 30

Comunalidades obtenidas en los parámetros fisicoquímicos

Comunalidades		
Parámetros/	Inicial	Extracción
Conductividad	1.000	.991
pH	1.000	.970
Turbidez	1.000	.997
Color	1.000	.902
Dureza Total	1.000	.911
Sólidos Totales Disueltos	1.000	.991
Cloruros	1.000	.944
Nitratos	1.000	.985
Nitritos	1.000	.990
Sulfatos	1.000	.996
Aluminio (Al)	1.000	.996
Antimonio (Sb)	1.000	.999
Arsénico (As)	1.000	.930
Bario (Ba)	1.000	.998
Boro (B)	1.000	.986
Cadmio (Cd)	1.000	.996
Cobre (Cu)	1.000	.990
Cromo (Cr)	1.000	.994
Hierro (Fe)	1.000	.888
Manganeso (Mn)	1.000	.876
Molibdeno (Mo)	1.000	.948
Níquel (Ni)	1.000	.990
Plomo (Pb)	1.000	.993
Selenio (Se)	1.000	.993
Sodio (Na)	1.000	1.000
Zinc (Zn)	1.000	.980

Luego de obtener la tabla de comunalidad, se obtuvo la tabla de Varianza Total explicada, mostrada en la tabla 31, la cual está asociada a cada uno de los factores que se utilizó para determinar a cuántos de ellos deben retenerse.

Tabla 31

Valores de varianza total explicada

Compo nte	Auto valores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción	
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza
1	11.627	44.721	44.721	11.627	44.721
2	6.465	24.864	69.585	6.465	24.864
3	4.527	17.412	86.997	4.527	17.412
4	2.616	10.061	97.058	2.616	10.061
5	.632	2.430	99.488		
6	.133	.512	100.000		
7	2.404E-15	9.246E-15	100.000		
8	1.435E-15	5.519E-15	100.000		
9	1.024E-15	3.939E-15	100.000		
10	6.201E-16	2.385E-15	100.000		
11	5.878E-16	2.261E-15	100.000		
12	4.496E-16	1.729E-15	100.000		
13	4.158E-16	1.599E-15	100.000		
14	3.237E-16	1.245E-15	100.000		
15	2.041E-16	7.852E-16	100.000		
16	8.566E-17	3.295E-16	100.000		
17	2.297E-17	8.834E-17	100.000		
18	-4.656E-17	-1.791E-16	100.000		
19	-1.264E-16	-4.860E-16	100.000		
20	-2.015E-16	-7.749E-16	100.000		
21	-2.820E-16	-1.085E-15	100.000		
22	-3.336E-16	-1.283E-15	100.000		
23	-4.770E-16	-1.835E-15	100.000		
24	-6.665E-16	-2.564E-15	100.000		
25	-9.640E-16	-3.708E-15	100.000		
26	-1.669E-15	-6.418E-15	100.000		

Del análisis efectuado a la tabla 31, se demuestra que los cuatro primeros factores tienen todos varianza (Auto valores iniciales) ya que estos son mayores que 1, entre los cuatro recogen más del 97 % de la varianza de las variables originales.

Ordenando los valores determinados en el cuadro anterior, en los componentes, obtenemos valores que se muestran en la tabla 32, de varianza total explicada, asignándoles acorde a lo que estamos analizando, denominándolos de la siguiente manera:

- **Primer componente:** se le pondrá el nombre del Análisis físico-químicos ya que estos estarán relacionados con la primera parte del método de análisis obtenido.
- **Segundo componente:** Se le pondrá el nombre del Análisis por cromatografía-aniones.
- **Tercer componente:** se le pondrá el nombre de Análisis de Metales totales I y está comprendido en la mitad de los valores que se obtuvieron.
- **Cuarto componente:** se le pondrá el nombre de Análisis de Metales totales II y está comprendido en la segunda mitad de los valores que se obtuvieron.

Como se puede notar solo que cuenta con la numeración de los componentes, pero a criterio para el presente tema de investigación, esto con el fin de reducir la cantidad de variables y componentes y así obtener una dimensión menor.

Tabla 32

Resumen de valores de varianza total explicada

Componente	Varianza total explicada			
	Sumas de cargas al cuadrado de la extracción	Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	44.721	10.457	40.221	40.221
2	69.585	6.197	23.836	64.056
3	86.997	5.443	20.936	84.993
4	97.058	3.137	12.065	97.058

Efectuando el gráfico de sedimentación, en base a la varianza total explicada, asociada a cada factor usado, se determina el número de factores a considerarse, mostrando en dicho gráfico, la ruptura precisa que se da en la pendiente de factores principales con el descenso gradual de los restantes (considerados sedimentos) ya que estos toman valores menores que 1, lo que se muestra en la figura 32.

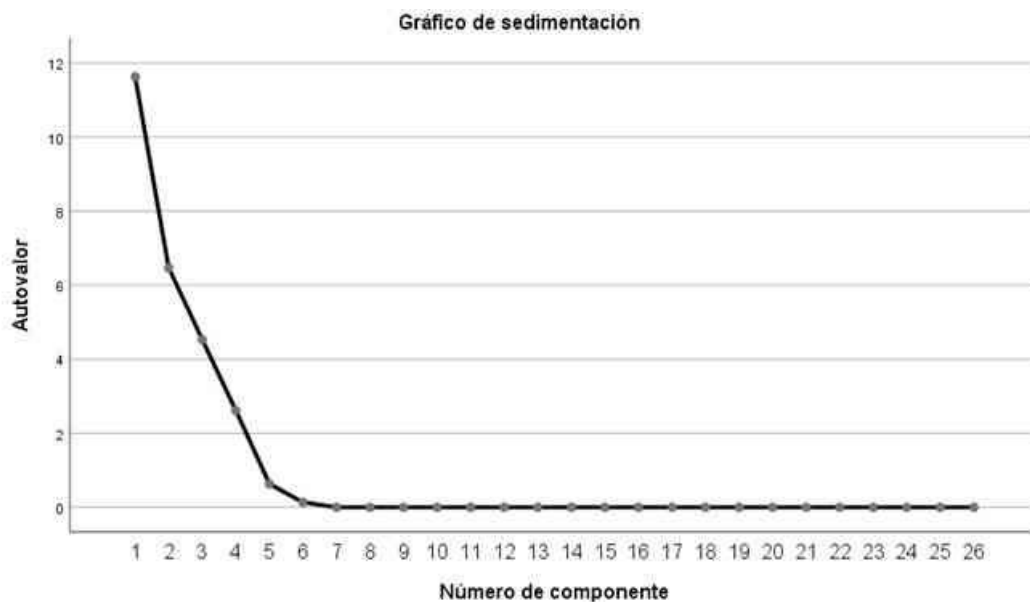


Figura 32. Gráfico de sedimentación según componentes

Con la información de saturaciones factoriales que se compone entre la matriz de componentes y el de correlaciones reproducidas, se obtiene información que se muestra en la tabla 33, que a continuación se presenta:

Tabla 33

Matriz de componente

Elemento analizado	Componentea			
	Primer	Segundo	Tercer	Cuarto
Antimonio (Sb)	.991		-.106	
Nitritos	.958	-.163	.108	-.185
Sulfatos	.956	-.220	-.112	.147
pH	.948	-.256		
Cromo (Cr)	.944		.291	.107
Sodio (Na)	.936	-.119	.314	-.103
Selenio (Se)	.916	.370	-.103	
Níquel (Ni)	.866	.437	.219	
Conductividad	.843		.517	
Cloruros	.842	-.154	.162	.431
Sólidos totales disueltos	.840		.521	.104
Boro (B)	.816	.136	.548	
Aluminio (Al)	.102	.951	-.249	.140
Turbidez		.933	-.296	.182
Plomo (Pb)		.915	-.365	.131
Cadmio (Cd)		.909	-.389	.115
Hierro (Fe)	-.360	.837	.219	
Cobre (Cu)	.494	.807	-.299	
Color	-.173	.674	.583	.279
Arsénico (As)	-.539	.132	.769	-.175
Bario (Ba)	-.418	.379	.748	.346
Manganeso (Mn)	-.555		.732	-.167
Dureza total	-.476	.287	.631	.451
Zinc (Zn)		-.405	-.377	.819
Nitratos	.124	-.452	-.373	.791
Molibdeno (Mo)	.564	.243	-.321	-.684

Con dicha información obtenida, se realizó su rotación mediante el método V_{arimax} con normalización Kaiser, efectuándose un total de 5 iteraciones; cuyos resultados de dicho proceso, se obtuvo los resultados que se muestran en la tabla 34.

Tabla 34

Matriz de componente rotado

	Matriz de componente rotado^a			
	Componente			
	Primer	Segundo	Tercer	Cuarto
Cromo (Cr)	.988	.117		
Conductividad	.983	-.116	.109	
Sólidos totales disueltos	.982	-.113	.116	
Sodio (Na)	.969	-.115	-.179	.122
Boro (B)	.963		.172	.163
Nitritos	.901		-.394	.120
pH	.887	-.138	-.402	
Níquel (Ni)	.882	.439		.139
Cloruros	.875			-.415
Antimonio (Sb)	.868	.226	-.435	
Sulfatos	.845		-.460	-.264
Selenio (Se)	.790	.477	-.355	.124
Turbidez		.995		
Cadmio (Cd)		.994		
Plomo (Pb)		.994		
Aluminio (Al)		.991		
Cobre (Cu)	.344	.917	-.167	
Hierro (Fe)	-.252	.623	.516	.412
Bario (Ba)			.993	
Dureza total	-.145		.935	-.116
Color		.436	.828	.129
Arsénico (As)	-.210	-.250	.789	.449
Manganeso (Mn)	-.238	-.304	.748	.410
Molibdeno (Mo)	.324	.288	-.656	.574
Zinc (Zn)	-.127	-.103		-.973
Nitratos		-.127	-.177	-.967

Una vez obtenida la matriz de componentes de rotación, se simplifica la matriz de transformación de componentes, la cual determina la relación entre los componentes según el método de rotación V_{arimax} con normalización Kaiser, como se muestra en la Tabla 35.

Tabla 35

Matriz de transformación de componentes

Matriz de transformación de componente				
Componente	1	2	3	4
1	.915	.130	-.380	-.034
2	.001	.911	.288	.295
3	.391	-.350	.795	.304
4	.098	.174	.375	-.905

Con todos los valores obtenidos se elaboró una representación gráfica tridimensional de saturaciones factoriales en este caso relacionado con los cuatro primeros factores, como se muestra en la figura 33.

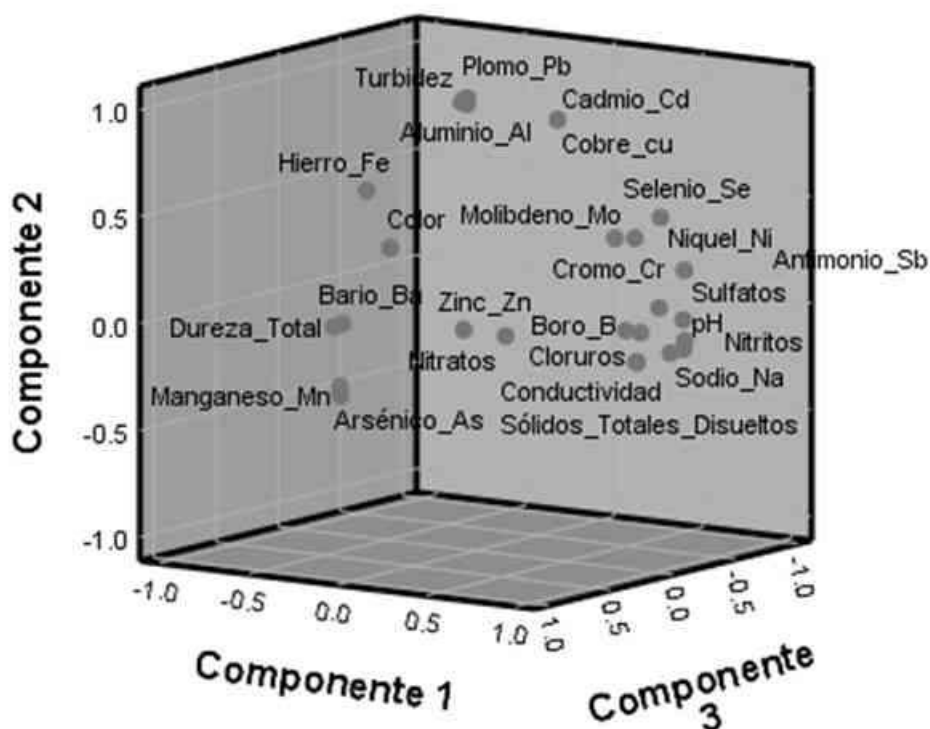


Figura 33. Componentes en espacio rotado.

4.2.3 Comparación de los resultados de los valores fisicoquímicos y bacteriológicos de aguas subterráneas extraídas en los pozos exploratorios según sectores

Los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua extraídas de los pozos exploratorios, efectuados por el laboratorio, permitieron determinar valores dentro de los cuales se tomó los promedios por cada localidad obteniendo los valores que se muestran en las tablas 41, 42 y 43 del anexo 4 Comparación de resultados de los análisis fisicoquímicos obtenidos, por sectores: Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte.

Como se observa en las tablas resumen de cada uno de los sectores existen parámetros que cumplen y en otros no, los valores de los límites máximos permisibles para su uso, por lo que en los que no cumplen con dichos límites se requeriría para su uso en consumo humano un determinado tratamiento según lo encontrado en exceso; estos resultados corresponden a la toma de una muestra por punto el cual generaliza a un pozo perforado pasando por un proceso de limpieza para su posterior muestreo.

Al ver que los promedios aritméticos simples si bien es cierto ayudan a simplificar con el número de muestras obtenidos no dejan ver con claridad de una manera integral cómo es que éstas están correlacionadas, es por ello que se hace uso método de Análisis de Componentes Principales (PCA), en el cual como resultados se reduce a cuatro componentes que se describieron en los procedimientos empleados que se muestra en la tabla 36.

Tabla 36

Matriz de transformación de componentes

Matriz de transformación de componente				
Componente	1	2	3	4
1	.915	.130	-.380	-.034
2	.001	.911	.288	.295
3	.391	-.350	.795	.304
4	.098	.174	.375	-.905

Esta información se representó el gráfico 33: gráfico de componentes en espacio rotado, donde los componentes principales sirven para agrupar datos de manera más simplificada resumiendo cada grupo de la siguiente manera:

- **Primer componente:** se le pondrá el nombre del Análisis físico-químicos ya que estos estarán relacionados con la primera parte del método de análisis obtenido.
- **Segundo componente:** Se le pondrá el nombre del Análisis por cromatografía-aniones.
- **Tercer componente:** se le pondrá el nombre de Análisis de Metales totales I y está comprendido en la mitad de los valores que se obtuvieron.
- **Cuarto componente:** se le pondrá el nombre de Análisis de Metales totales II y está comprendido en la segunda mitad de los valores que se obtuvieron.

De todo lo expuesto se comprueba que, los análisis de componentes principales (PCA), ayudan solo a sintetizar los valores, pero no ayudan a realizar una comparativa al presente trabajo de investigación es por ello que se realizó la aplicación del diagrama de Piper y de Durov los cuales nos brindaron información más sintetizada de los valores que se obtuvo en los análisis físicoquímicos, presentados en el gráfico 35.

Con el diagrama de Piper, se determinó el tipo de familia de agua a la que pertenecen las aguas de la zona de estudio analizadas, análisis efectuado en base

a la figura 34 y considerando la clasificación de las aguas según familias químicas de la tabla 40, que a continuación se presentan:

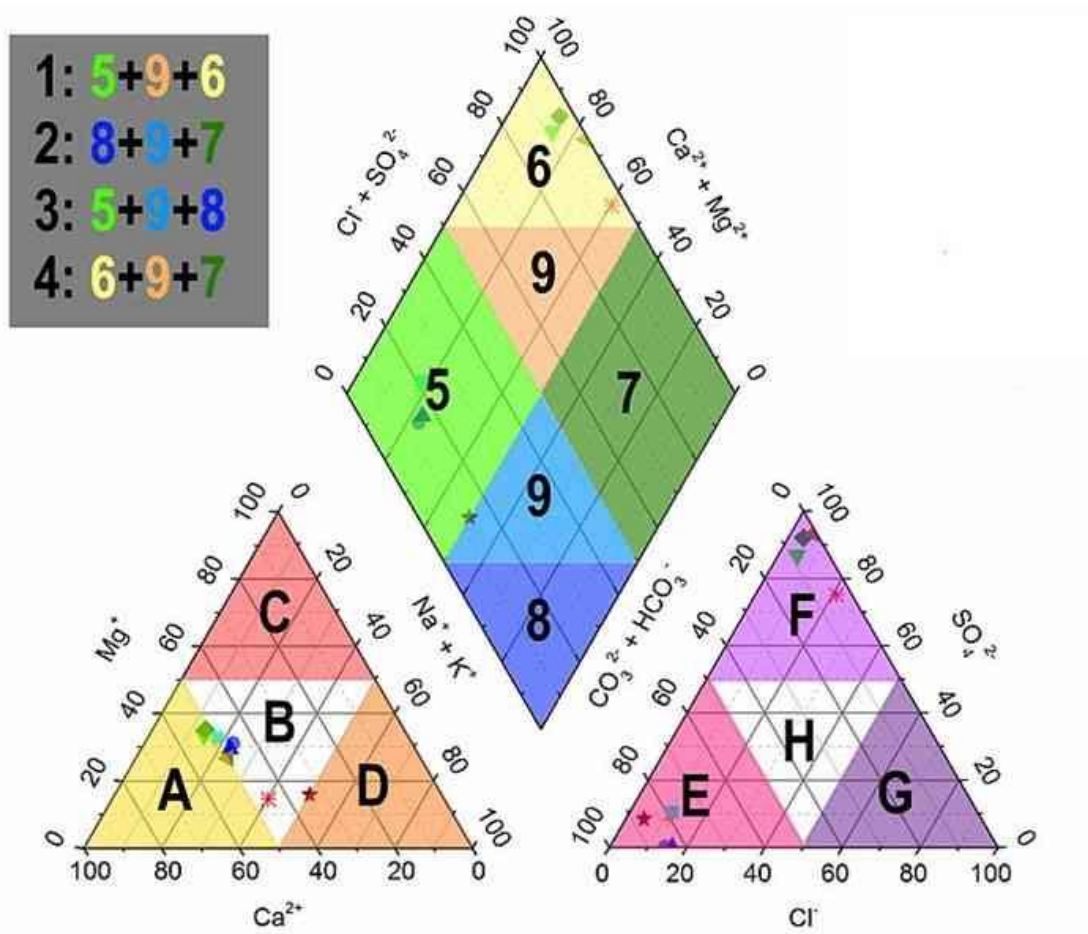


Figura 34. Clasificación de las aguas por familias químicas.

Describiendo la figura 34, se observa en la parte superior el rombo que los relaciona, y combina y cada triángulo subdivide en otras más pequeñas, en la tabla 40 se indica la leyenda.

Tabla 37

Clasificación de las aguas según familias químicas

- A Cálcida
- B No dominante
- C Magnésica
- D Sódica y potásica
- E Bicarbonática
- F Sulfática
- G Clorada
- 1 Suelos más alcalinos que el agua
- 2 Aguas más alcalinas que los suelos
- 3 Más ácidos débiles que fuertes
- 4 Más ácidos fuertes que débiles
- 5 Tipo bicarbonatos magnésicos
- 6 Tipo cloruro de calcio
- 7 Tipo cloruro de sodio
- 8 Tipo bicarbonato de calcio
- 9 Tipo mixto

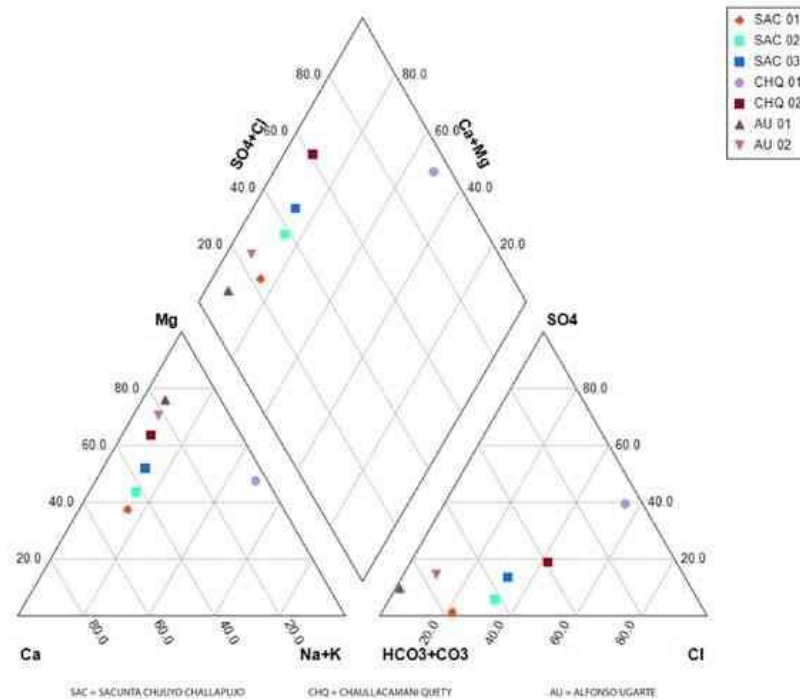


Figura 35. Diagrama de Piper en la zona de estudio

De acuerdo a lo presentado en la tabla 37, se efectuó una clasificación según los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua subterránea extraídas de pozos exploratorios construidos, la que se muestra en la tabla 38.

Tabla 38

Familias químicas de las aguas en la zona de estudio

Muestra	Familia
SAC 01	Bicarbonato magnésico no dominante
SAC 02	Bicarbonato magnésico no dominante
SAC 03	Bicarbonato magnésico
CHQ 01	Tipo cloruro de calcio no dominante
CHQ 02	Tipo cloruro de calcio, Sódica y potásica
AU 01	Tipo bicarbonatos magnésicos
AU 02	Tipo bicarbonatos magnésicos

Estableciéndose la relación con las formaciones geológicas para los resultados señalados, obtuvimos el diagrama de Piper para la zona investigada:

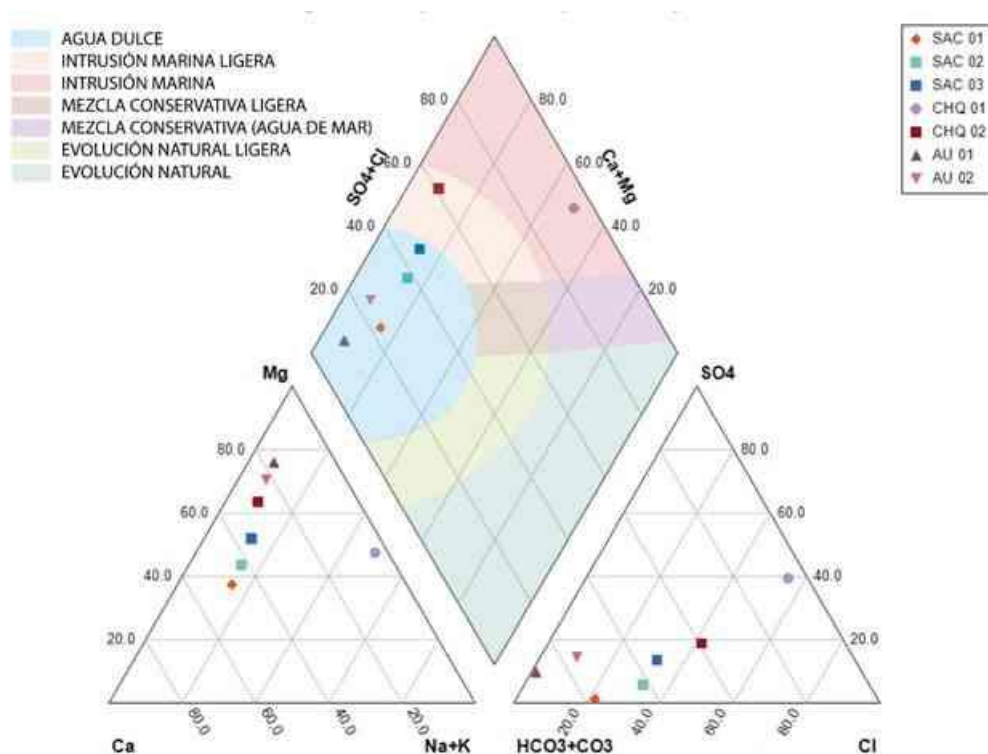


Figura 36. Clasificación de las aguas en la zona investigada

De acuerdo al diagrama de Piper, presentado en la figura 36, se clasifica a las aguas encontradas en los pozos exploratorios de acuerdo a la tabla 39.

Tabla 39

Clasificación química de las aguas subterráneas en el lugar de estudio

Muestra	Clasificación
SAC 01	Agua dulce
SAC 02	Agua dulce
SAC 03	Agua dulce
CHQ 01	Con Intrusión lacustre
CHQ 02	Con intrusión lacustre ligera
AU 01	Agua dulce
AU 02	Agua dulce

4.2.4 Relación de la calidad de las aguas subterráneas y el tipo de suelos de la zona de estudio según valores de resistividad aparente.

Generalizando la clasificación de las aguas subterráneas según en el diagrama de Piper, en la zona de estudio, se identificó 3 clases o familias de aguas subterráneas, las cuales son: 1) Agua dulce en la localidad de Sancuta, 2) agua con intrusión marina en la localidad de Quety y 3) Agua dulce en la localidad de Alfonso Ugarte, las que se relacionan con los tipos de suelos o formaciones geológicas en la zona de estudio, a través de las secciones geológicas establecidas con los valores de resistividad aparente encontrados con los SEVs, las cuales se presentan en las siguientes figuras por cada sector evaluado:

4.2.4.1 Sección sector Sancuta.

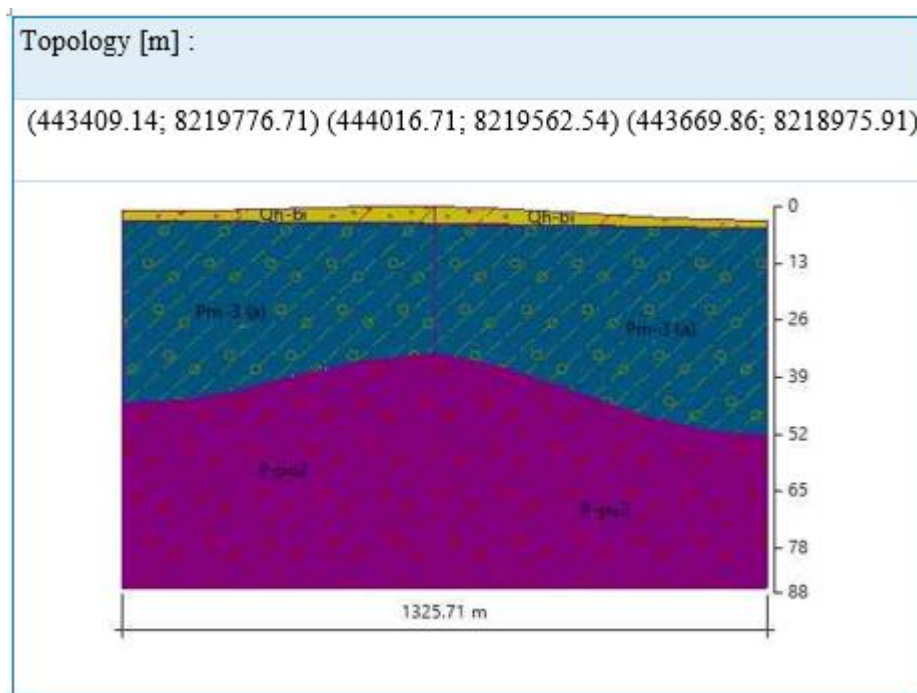


Figura 37. Sección geológica del sector Sancuta.

Describiendo esta sección geológica, elaborada en base a los resultados de resistividades aparentes, obtenidas con los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs) del sector Sancuta, se observa que, la coloración azul que representa a la formación geológica Muñani Pm-3, nos da a conocer que es una formación que contiene agua dulce.

4.2.4.2. Sección sector Quety

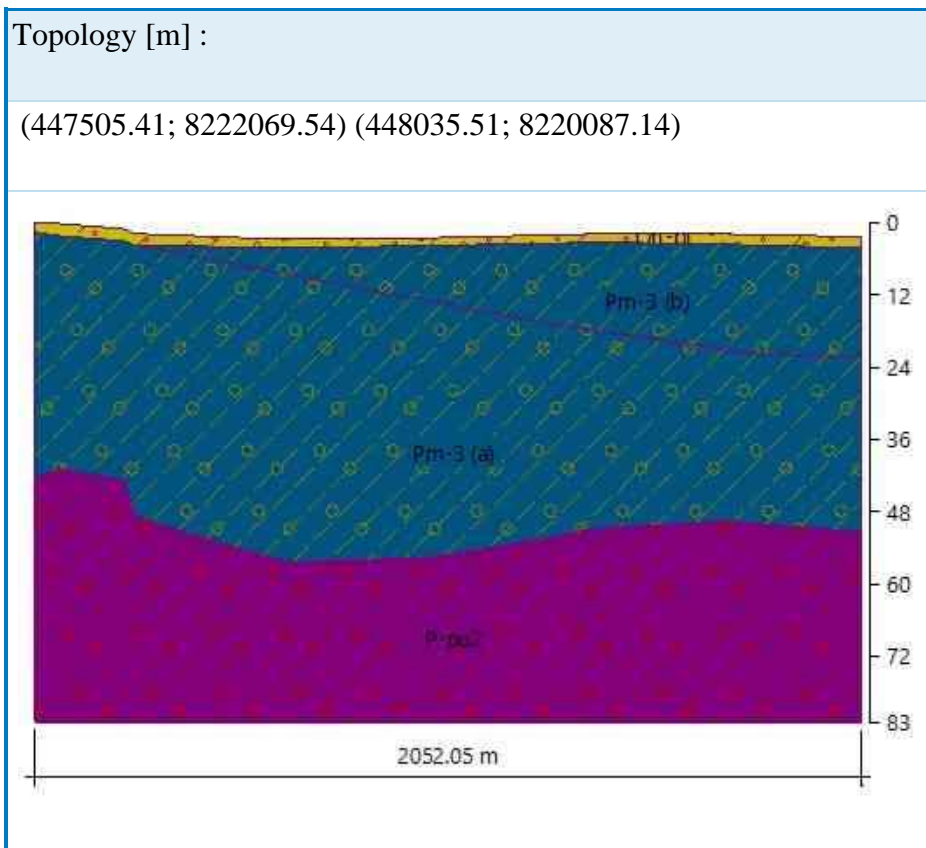


Figura 38. Sección geológica del sector Quety

Describiendo esta sección geológica, elaborada en base a los resultados de resistividades aparentes, obtenidas con los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs) del sector Quety, se observa que la coloración azul representa a la formación Muñani Pm-3, pero también contiene formación de intrusión marina, por la presencia de la formación Muñani Pm-3 (b), la cual se encuentra cerca al Lago Titicaca y al ser un acuífero poroso no consolidado se ha infiltrado el agua de la formación que contiene intrusión marina, originando otro tipo de agua, con cierto contenido de sales.

4.2.4.3. Sección Sector Alfonso Ugarte

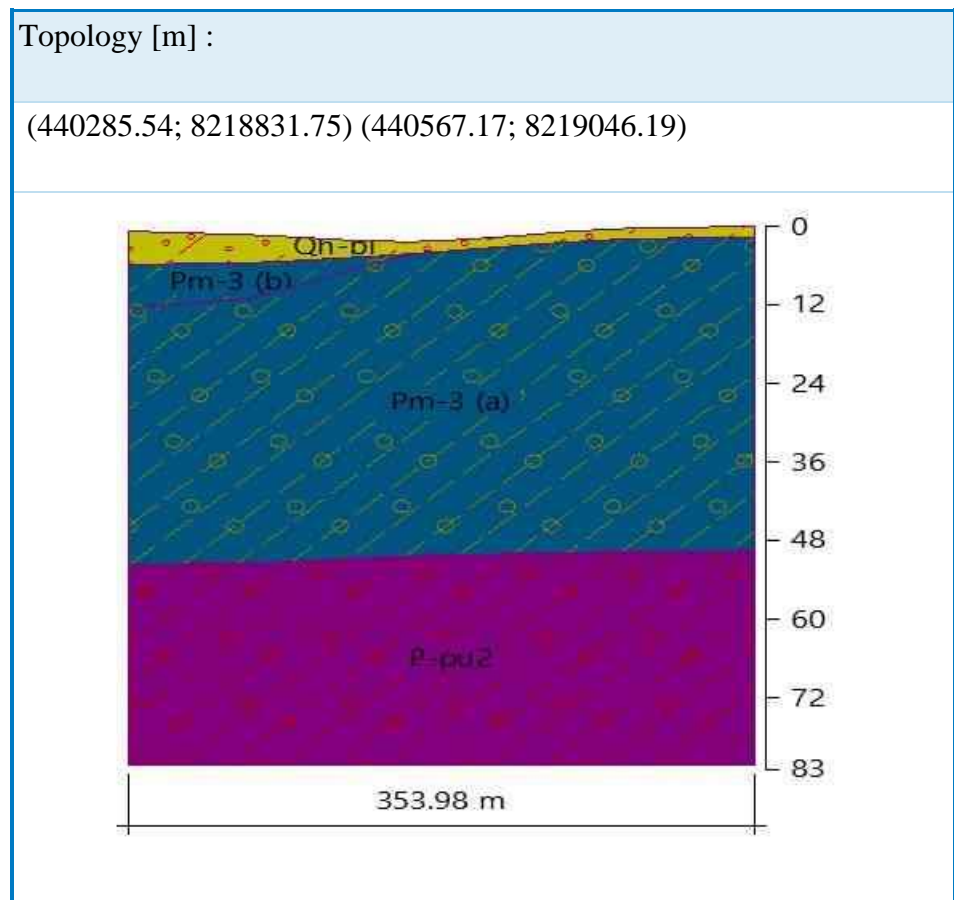


Figura 39. Sección geológica sector Alfonso Ugarte

Describiendo esta sección geológica, elaborada en base a los resultados de resistividades aparentes, obtenidas con los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs) del sector Alfonso Ugarte, se observa que, la coloración azul representa a la formación Muñani Pm-3, en menor proporción, encontrándose en mayor proporción, presencia de agua dulce, que pese a contener pequeña proporción de la formación Muñani Pm-3 (b), esto no afecta a la calidad de agua, por encontrarse dicha formación alejado de los puntos de muestreo anteriores.

Efectuando una representación general, de los pozos exploratorios en la zona evaluada, obtenemos la siguiente imagen y sección:

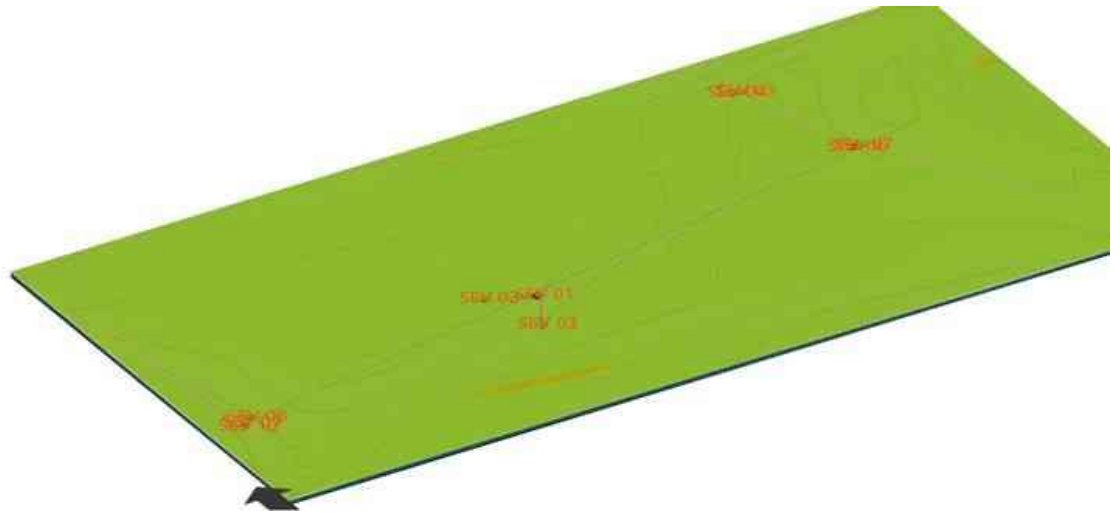


Figura 40. Secciones geológicas obtenidas en la zona de estudio

4.2.4.4. Sección General

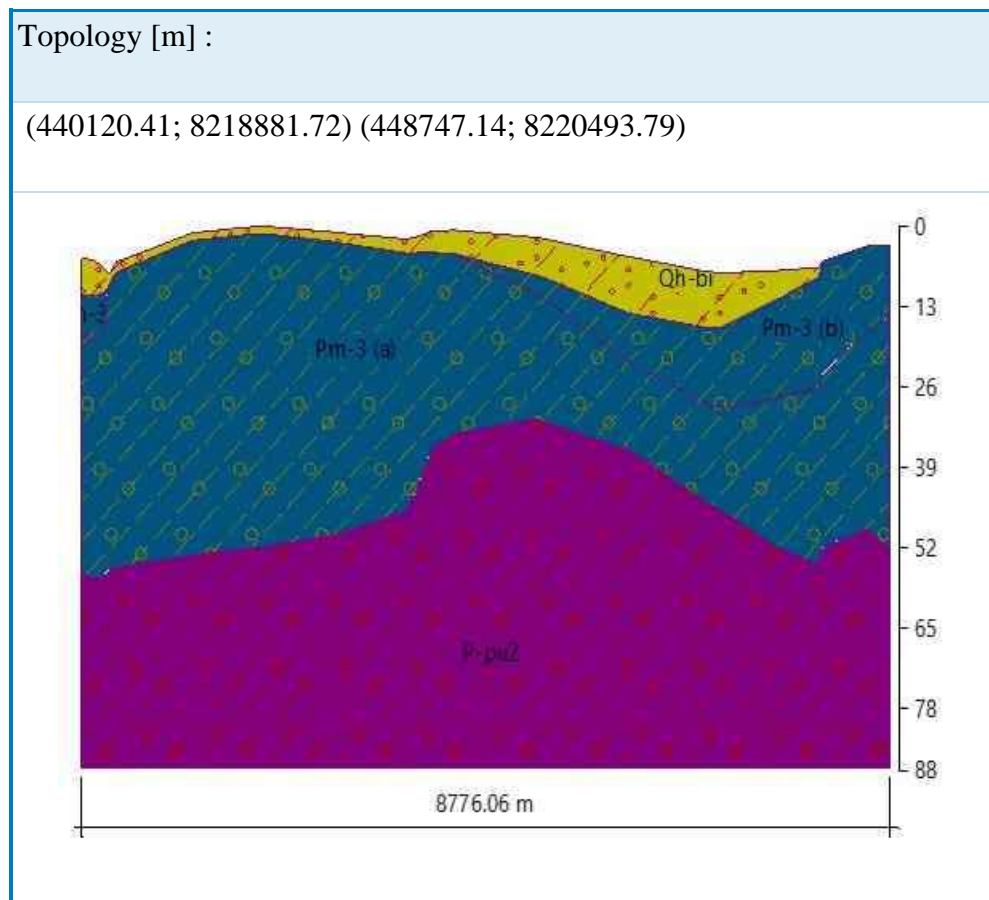


Figura 41. Sección geológica general de la zona de estudio

Describiendo esta sección geológica general, elaborada en base a los resultados de resistividades aparentes, obtenidas con los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs) en los tres sectores evaluados: Sancuta, Quety y Alfonso Ugarte, se observa que en la zona investigada, predomina el agua dulce; pero en zonas cercanas a la orilla del lago Titicaca se infiltra agua de este, producto de la formación geológica existentes en ellas, que es porosa no consolidada, con materiales finos con algunos metales pesados, por lo que se considera que las aguas en ellas, tengan intrusión lacustre.

Del análisis efectuado, a las secciones geológicas obtenidas en base a los Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), se observa que existe relación entre la calidad de agua con respecto a los sondajes eléctrico verticales, que, analizado con la conductividad eléctrica obtenida en los análisis fisicoquímicos de las muestras y los valores de pH de las mismas, usando el diagrama de Durov obtenemos como resultado la imagen que se presenta en la siguiente figura:

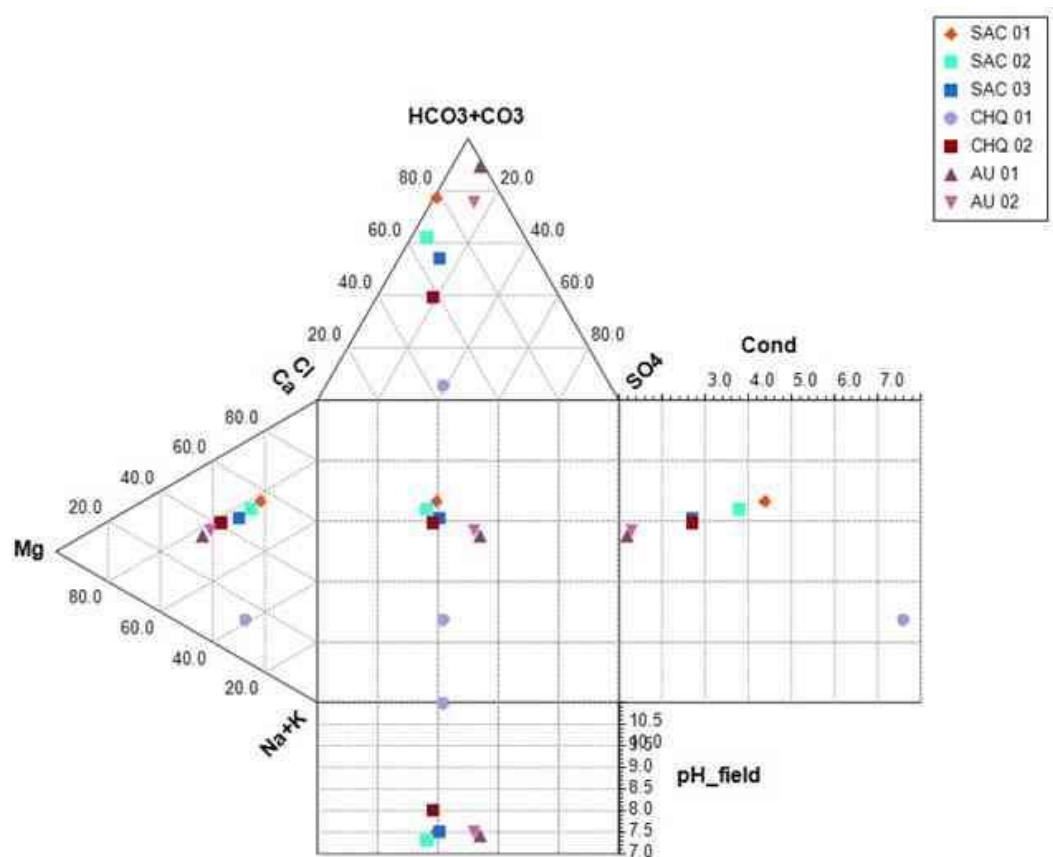


Figura 42. Diagrama de Durov en el lugar de estudio

Con los resultados obtenidos en el análisis del tipo de formación geológica en la zona, de valores de resistividad aparente en los SEVs y de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las muestras de agua extraídas de pozos exploratorios, determinamos la relación entre el tipo de formación geológica en la zona, valores de resistividad aparentes de los SEVs y los parámetros establecidos respecto a la calidad de agua; resumida en la tabla 40.

Tabla 40

Relación existente entre el tipo de suelo, resistividad aparente y calidad del agua

Sector	Suelo	Resistividad		Descripción
		aparente Promedia (Ω -m)	Calidad de agua	
Sancuta	Formación Muñani Pm-3	75.23	Agua Dulce	sedimentos limos y arenas finas a medias
Quety	Formación Muñani Pm-3	118.25	Intrusion lacustre	Gravilla, grava gruesa y arena cercana al lago Titicaca
Alfonso Ugarte	Formación Muñani Pm-3	52.00	Agua Dulce	Arena media con limo semi consolidado
Cuenca del río Zapatilla	Formación Muñani Pm-3	88.10	Predomina agua dulce	Predomina arena fina a media con presencia de grava y limos

De los resultados señalados y analizados de la tabla 40, se observa que en el sector Sancuta, predomina la formación geológica Muñani Pm-3, constituida por sedimentos limos y arenas finas a media, el valor de resistividad aparente promedio es de 75.23 Ω -m, presentando metales pesados como arsénico (As), manganeso (Mn) y aluminio (Al) con valores ligeramente por encima del límite máximo permisible al igual que la turbidez, considerando que las aguas subterráneas encontradas, son dulces o aptas, que requieren simples tratamientos para su uso.



En el sector Quety, predomina también la formación Muñani Pm-3, pero constituida por gravilla, grava gruesa y arenas, siendo zona cercana al lago Titicaca, el valor de la resistividad aparente promedio es de $137 \Omega\text{-m}$, relativamente alta, por tener un pH alcalino, metales pesados como fierro (Fe) y plomo (Pb) con valores ligeramente por encima de los límites máximos, como también valores altos de Nitrato, por lo que al estar cercano al lago Titicaca, está influenciado por él, por lo que las aguas encontradas requieren de un tratamiento adecuado para su uso.

En el sector Alfonso Ugarte predomina también la formación Muñani Pm-3, constituida por arena media con limo consolidado, el valor de la resistividad aparente promedio es de $52 \Omega\text{-m}$, presentando metales pesados como arsénico (As), manganeso (Mn) y fierro (Fe) con valores ligeramente por encima de los límites máximos, considerando a las aguas encontradas como dulces, requiriéndose simples tratamientos para uso.

CONCLUSIONES

Los valores de resistividad aparente de los suelos, varían de 43 Ω -m (Sector Alfonso Ugarte) a 143 Ω -m (Sector Quety), que está dentro del rango establecido para las arenas que es de 50 – 500 Ω -m y de 40-100 Ω -m en grava no saturada; corroborándose con lo encontrado en el lugar de estudio, donde los estratos son conglomerados, lutitas y lodolitas, propios de un acuífero poroso no consolidado; existiendo en poca proporción material de la formación Azángaro (Qp-az3) compuesta por arcillita y arenisca y mayormente depósitos aluviales (Qh-al), compuestos por bloques de grava, arena, limo y arcilla, pertenecientes a un ambiente continental (lacustre y aluvial); concluyéndose que existe una relación directa entre los valores de resistividad aparente obtenidos con el tipo de formación geológica encontrada en el lugar de estudio.

El estrato de suelo con contenido de agua subterránea, tiene algún elemento químico predominante, en cada sector, así tenemos que en el sector Sancuta constituida por sedimentos limos y arenas finas a media, el valor de resistividad aparente promedio es de 75.23 Ω -m, el agua presenta metales pesados como arsénico (As), manganeso (Mn) y aluminio (Al), y la turbidez están ligeramente por encima del límite máximo permisible; en el sector Quety, constituida por gravilla, grava gruesa y arenas, cercana al lago Titicaca, el valor de la resistividad aparente promedio es de 118.25 Ω -m, relativamente alta, el agua tiene un pH alcalino, metales pesados como fierro (Fe) y plomo (Pb) con valores ligeramente por encima de los límites máximos, como también valores altos de Nitrato, y en el sector Alfonso Ugarte constituida por arena media con limo consolidado, el valor de la resistividad aparente promedio es de 52 Ω -m, el agua presenta metales pesados como arsénico (As), manganeso (Mn) y fierro (Fe) con valores ligeramente por encima de los límites máximos; en dos sectores Sancuta y Alfonso Ugarte se consideran a las aguas encontradas como dulces, y por lo tanto para uso, no así en el sector Quety, guardando relación con los valores de resistividad aparente.

Concluyéndose que existe relación entre valores de resistividad aparente y la calidad de las aguas subterráneas encontradas, a mayor resistividad aparente existe aguas que contienen metales pesados ligeramente por encima del máximo permisible, como el caso de Quety, que tienen valores promedios de resistividad aparente es 118.25 Ω -m, y en los sectores Sancuta y Alfonso Ugarte, donde el valor de resistividad aparente promedio es de 75.23 y 52 Ω -m.

RECOMENDACIONES

Se recomienda elaborar el plano hidrogeológico a nivel de sectores, microcuencas y cuencas, donde se muestre la información geológica de campo y los valores de resistividad aparente encontrados en ellas, que permita no solo identificar las formaciones hidrogeológicas existentes en la zona a nivel superficial, sino a profundidad, identificando estratos geológicos que pueden ser considerados como acuíferos, conteniendo agua subterránea, en condiciones adecuadas, definiendo zonas favorables con disponibilidad de aguas subterráneas para ser consideradas como fuentes de los sistemas de abastecimiento de agua potable con fines poblacionales.

Se recomienda definir zonas favorables con presencia de aguas subterráneas, previo a la construcción definitiva del pozo como fuente de extracción de las mismas para diversos sistemas de uso, efectuando el proceso constructivo de los pozos exploratorios, considerando la evaluación por estrato encontrado, como efectuar también el análisis in situ del agua contenida en ellos, a profundidad, realizando su respectivo análisis fisicoquímico y bacteriológicos de aguas y comprobar el grado de afectación que pueda tener, para proceder a su sellado si así se requiere, y evitar contaminar las aguas de estratos que las contienen y están excepta de minerales o cualquier otro elemento contaminante.

BIBLIOGRAFÍA

- AFATER (1987). *Estudio de reconocimiento hidrogeológico en el departamento de Puno* (Vol. 37).
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/2704>
- Alile, M., Jegede, S., & Ehigiator, O. (2008). Underground Water Exploration Using Electrical Resistivity Method in Edo State, Nigeria. *Asian Journal of Earth Sciences*, 134(25), 398. <https://doi.org/10.2307/3973117>
- Apaza, T. (2020). *Evaluación de arsénico, dureza, coliformes termotolerantes y E. coli en aguas subterráneas, de las urbanizaciones de Santa Adriana y Niño San Salvador, del distrito de Juliaca, Puno 2019*. Universidad Peruana Unión - Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Arias, D., Echeverri, O. & Hoyos, F. (2012). Relaciones geoelectricas en la exploracion geotecnica. *Boletin de Ciencias de La Tierra*, 31(1), 39–50.
- Arredondo, R. (2015). *Estudio de sondajes eléctricos verticales y evaluación hidrogeológica de los manantiales en la quebrada de Tasata, distrito de Polobaya - Región Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Arshad, M., Cheema, J. M. & Ahmed, S. (2007). Determination of lithology and groundwater quality using electrical resistivity survey. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9(1), 143–146.
- Auge, M. (2008). *Métodos Geoelectricos para la Prospección de Agua Subterránea*. 25456. <file:///D:/Documentos/Ciclo Corto/Investigación/Referencias/Referencia 1.pdf>
- Bakkali, S. (2005). Utilización de sondeos eléctricos para el diagnóstico del potencial hídrico de la región de Tizeght (anti-atlas marroquí). *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 7(2), 71–84. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2006.07n2.006>
- Bodrud-Doza, M., Islam, S. M. D.-U., Hasan, M. T., Alam, F., Haque, M. M., Rakib, M. A., Asad, M. A., & Rahman, M. A. (2019a). Groundwater pollution by trace metals and human health risk assessment in central west part of Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100219.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100219>

Bodrud-Doza, M., Islam, S. M. D. U., Hasan, M. T., Alam, F., Haque, M. M., Rakib, M. A., Asad, M. A., & Rahman, M. A. (2019b). Groundwater pollution by trace metals and human health risk assessment in central west part of Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100219.

<https://doi.org/10.1016/J.GSD.2019.100219>

Bojsen, B. H., & Barriga, R. (2002). Effects of deforestation on fish community structure in Ecuadorian Amazon streams. *Freshwater Biology*, 47(11), 2246–2260.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00956.x>

Borchers, J., Kretsinger, V., Carpenter, M., Dalgish, B. & Cannon, D. (2014). Land Subsidence from Groundwater Use in California. In *California Water Foundation* (Vol. 4, Issue April).

Brassard, M., Borget, I., Edet-Sanson, A., Giraudet, A.-L., Mundler, O., Toubeau, M., Bonichon, F., Borson-Chazot, F., Leenhardt, L., Schwartz, C., Dejax, C., Brenot-Rossi, I., Toubert, M.-E., Torlontano, M., Benhamou, E., Schlumberger, M., & Group, T. W. (2011). Long-Term Follow-Up of Patients with Papillary and Follicular Thyroid Cancer: A Prospective Study on 715 Patients. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 96(5), 1352–1359.

<https://doi.org/10.1210/jc.2010-2708>

Bundschuh, J., Carrera, A., & Litter, M. (2008). *Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*.

Bustamante, E. (2017). *Identificación de procesos hidrogeoquímicos aplicando modelación inversa en el acuífero Soconusco, Chiapas*.
<https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/3252/TMIPICYTB8I32017.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Caceres, N. M. (2018). *Estudio fisicoquímico y toxicológico de los metales pesados en los Ríos Bayamón y Guaynabo que afectan la calidad del agua potable* (Issue November).

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33009.10082>

Cadima, J., & Jolliffe, I. (1995). Loadings and correlations in the interpretation of

- principal components. *Journal of Applied Statistics*, 22.
- Calcina, M. (2017). Evaluación geoquímica del arsénico en aguas subterráneas de la subcuenca del río Callacame, Desguadero Puno. *Tesis*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Caraballo, M., & Montaña, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea* (Primera ed). Denad Internacional S.A.
- Carrasco, P. (2013). *Avance en técnicas geofísicas para la caracterización del subsuelo mediante innovación y el uso de herramientas de gestión de información espacial*. [Universidad de Salamanca]. papers3://publication/uuid/70157E73-A091-4F27-93CA-5A8548B573A5
- Castillo, F. J. (2017). Estudio geofísico para la exploración de agua subterránea en el fundo Buselcat Asia – Cañete, Lima. *Tesis presentado por el bachiller en Ciencias Geofísicas*, 154.
- Cerón, L., Sarria, J., Torres, J., & Soto-Paz, J. (2021). Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. *Información Tecnológica*, 32(1), 47–56. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000100047>
- Chaturvedi, V. K., Singh, A., Singh, V. K., & Singh, M. P. (2019). Cancer Nanotechnology: A New Revolution for Cancer Diagnosis and Therapy. *Current Drug Metabolism*, 20(6), 416–429. <https://doi.org/10.2174/1389200219666180918111528>
- Collazo, M., & Montaña, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea* (Primera ed).
- Colquehuanca, J. V. (2015). *Estudio hidrogeológico en la cabecera de la subcuenca de Macuya, mediante prospección geofísica*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Connor, R., & Koncagül, E. (2014). The United Nations World Water Development Report 2014. <https://doi.org/10.4324/9781849773355>
- Cosenza, A. (2006). *El Sondeo eléctrico vertical como metodología geofísica en el estudio de capas acuíferas en la finca “ El Baúl”, Santa Lucía Cotzumalguapa*. (Vol.

- 1999). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Daza, F. (2012). *Métodos geoeléctricos aplicados a la exploración de aguas subterráneas y termales*. Universidad de Concepción - Chile.
- de Ceballos, B. S. O., König, A., & de Oliveira, J. F. (1998). Dam reservoir eutrophication: A simplified technique for a fast diagnosis of environmental degradation. *Water Research*, 32(11), 3477–3483. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00095-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00095-5)
- De la Cruz, D. (2021). *Parámetros físicos químicos y metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca*. Universidad Nacional de Juliaca.
- Doll, P., Hoffmann-Dobrev, H., Portmann, F. T., Siebert, S., Eicker, A., Rodell, M., Strassberg, G., & Scanlon, B. R. (2012). Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. *Journal of Geodynamics*, 59–60, 143–156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jog.2011.05.001>
- Domínguez-Granda, L., Goethals, P., & De Pauw, N. (2005). Aspectos del ambiente físico-químico del río Chaguana: un primer paso en el uso de los macroinvertebrados bentónicos en la evaluación de su calidad de agua. *Revista Tecnológica Espol*, 18(1), 127–134.
- Egbueri, J. (2019). Evaluation and characterization of the groundwater quality and hydrogeochemistry of Ogbaru farming district in southeastern Nigeria. *SN Applied Sciences*, 1(8), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0853-1>
- El Alfy, M., Lashin, A., Abdalla, F., & Al-Bassam, A. (2017). Assessing the hydrogeochemical processes affecting groundwater pollution in arid areas using an integration of geochemical equilibrium and multivariate statistical techniques. *Environmental Pollution*, 229, 760–770. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.052>
- Escobar, J., Betancur, T., García, E., Martínez, C., & Palacio, P. (2017). *Análisis jerárquico ponderado aplicado a la identificación de recarga y flujos regionales en acuíferos*. 13(24), 37–48.

- Fonseca, F. (2018). *Modelación geológico-geofísica con fines hidrogeológicos en los municipios Corrales y Gámeza, Colombia*. 34, 15.
- Frankel, T. (2015). *Nuevos datos de la NASA muestran cómo el mundo se está quedando sin agua - The Washington Post*. THE WASHINGTON POST.
<https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2015/06/16/new-nasa-studies-show-how-the-world-is-running-out-of-water/>
- Gallegos-Sánchez, S. (2013). *Effect of riparian vegetation cover and season on aquatic macroinvertebrate assemblages in the Ecuadorian Andes*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26712.93448>
- García, F. & Castro, E. (2018). Proyecto de Investigación y Desarrollo 075/2011: Comportamiento y evolución espacio-temporal del arsénico en aguas subterráneas de la República Argentina. FONCYT.
- González, R. D. (1991). *Investigación Hidrogeofísica en los Sondeos de Agua Subterránea*. Universidad Complutense de Madrid.
- Grcev, L. (1992). *Numerical analysis of the transient voltages near grounding systems*. 105–110.
- Hoyos, Fabián'; Velez, María; Arias, D. (2000). *Las Aguas Subterráneas del Valle de San Medellín*. Universidad Nacional de Colombia. Sede de Medellín.
- Iah. (2017). *Los objetivos de desarrollo sustentable (ODS) de la Organización de Naciones Unidas (ONU) para el 2030 Indicadores esenciales para el agua subterránea*.
- Islam, Z., & Klein, M. (2017). A modular metabolic engineering approach for the production of 1,2-propanediol from glycerol by *Saccharomyces cerevisiae*. *Metabolic Engineering*, 44, 223–235.
- Kearey, P., & Brooks, M. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*, 3rd ed. ix + 262 pp. Oxford: Blackwell Science. ISBN 0 632 04929 4. *Geological Magazine - Geol. Mag*, 140, 366.
<https://doi.org/10.1017/S0016756803378021>



- Kendall, M. G. (Maurice G. (1980). *Multivariate analysis* (2nd ed.). Charles Griffin and Company.
- Kole, G., & Vittal, J. J. (2013). Solid-state reactivity and structural transformations involving coordination polymers. *Chem. Soc. Rev.*, *42*(4), 1755–1775. <https://doi.org/10.1039/C2CS35234F>
- Kumar, P., Bansod, B. K. S., Debnath, S. K., Thakur, P. K., & Ghanshyam, C. (2015). Index-based groundwater vulnerability mapping models using hydrogeological settings: A critical evaluation. *Environmental Impact Assessment Review*, *51*, 38–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.02.001>
- Loke, D. M. (2000). Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies - A practical guide to 2-D and 3-D surveys Copyright. *Cangkat Minden Lorong, August 200*(1999), 61.
- López-Geta, J., Fornés, J., González, G., & Gil, F. (2009). Las aguas subterráneas Un recurso natural del subsuelo. In *Instituto Geológico y Minero de España*.
- López-Luna, J., Gonzalez Chavez, M. del C., Esparza García, F., & Rodriguez Vazquez, R. (2012). Fractionation and availability of heavy metals in tannery sludge-amended soil and toxicity assessment on the fully-grown *Phaseolus vulgaris* cultivars. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, *47*, 405–419. <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.646121>
- Markiewicz, H., & Klajn, A. (2003). *Sistemas de puesta a tierra y sistemas de pararrayos.pdf*.
- Martínez, J. (2009). El Nitrógeno en las Aguas Subterráneas de la Comunidad de Madrid: Descripción de los procesos de contaminación y Desarrollo de herramientas para la designación de zonas vulnerables. In *Departamento Universitario de Ecología. Universidad de Alcalá de Henares*. Universidad de Alcalá de Henares.
- Martínez, M. (2013). *Hidrogeología de la serranía de cuenca*. Universidad Autónoma de Madrid.
- McCune, B. P., & Grace, J. (2002). Analysis of Ecological Communities. In *Journal of*

- Experimental Marine Biology and Ecology - J. Exp. Mar Biol. Ecol.* (Vol. 289).
[https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(03\)00091-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(03)00091-1)
- Moreno, M. D. (2003). Toxicología ambiental: evaluación de riesgo para la salud humana. In *Toxicología ambiental: evaluación de riesgo para la salud humana*. McGraw Hill Interamericana.
- Mustapha, A., & Abdu, A. (2012). Application of Principal Component Analysis & Multiple Regression Models in Surface Water Quality Assessment. *Journal of Environment and Earth Science*, 2, 16–23.
- OMS. (2011). *Informe mundial sobre la discapacidad 2011*. Organización Mundial de la Salud.
- Orellana, E. (1982). *Prospección geoelectrica*. Paraninfo.
- Ouyang, Y. (2005). Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, 39(12), 2621–2635.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.024>
- Paganini, F. (2019). *Evaluación de resultados de Sondeos Eléctricos Verticales en la prospección de agua subterránea en la provincia de Neuquén, Argentina*. Universidad Nacional del Comahue.
- Peres-neto, P. R., Jackson, D. A., & Somers, K. M. (2005). *How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited*. 49, 974–997. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2004.06.015>
- PNUD. (2009). Informe de Desarrollo Humano: Perú 2009 Parte II: Una visión desde las cuencas. In *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*.
<http://hdr.undp.org/sites/default/files/idh2009-peru-vol1-2.pdf>
- Quijano, E., & Valcarcel, E. (2015). Interpretación de registros geofísicos de pozo, pozo A, B y C. Cuenca de los Llanos Orientales. In *Ekp* (Vol. 13, Issue 3). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Rahman, M., & Gagnon, G. (2014). Iron corrosion as a factor contributing to haloacetic acids formation in the distribution system: Experimental assessment and model development. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 63,

- 461–475. <https://doi.org/10.2166/aqua.2014.071>
- Reisenhofer, E., Adami, G., & Barbieri, P. (1998). Using chemical and physical parameters to define the quality of karstic freshwaters (Timavo River, North-eastern Italy): a chemometric approach. *Water Research*, 32(4), 1193–1203. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00325-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00325-4)
- Reynolds, J. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics* (2nd 2011).
- Rivera, A. (2008). Groundwater Sustainable Development in Canada – Emerging Issues. *Geoscience Canada, Volme 35*, 73–87.
- Rosado, A., & Salas, L. (2018). *Caracterización geoelectrica de los perfiles de meteorización de las rocas cristalinas en la zona de recarga y tránsito del acuífero de Santa Fe de Antioquia en el municipio de Sopetrán, plancha 130-III-B4*. Universidad EAFIT.
- Sanz, D. (2005). Contribución a la caracterización geométrica de las unidades hidrogeológicas que integran el sistema de acuíferos de la Mancha oriental. *Memoria*, 367.
- Sanz, H., Duque, E., & Gómez, S. (2010). La resistividad del suelo en función de la frecuencia. *Scientia et Technica*, XVI(44), 1-6 p.
- Song, L., Zhu, J., Yan, Q., & Kang, H. (2012). Estimation of groundwater levels with vertical electrical sounding in the semiarid area of South Keerqin sandy aquifer, China. *Journal of Applied Geophysics*, 83, 11–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2012.03.011>
- Subba, N. & Chaudhary, M. (2019). Hydrogeochemical processes regulating the spatial distribution of groundwater contamination, using pollution index of groundwater (PIG) and hierarchical cluster analysis (HCA): A case study. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100238. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100238>
- Sulca, D., Pena, F., Vásquez, S., Farfán, J., Carpio, J., & Moreno, J. (2011). *Importancia de la hidroquímica en la prospección y exploración de aguas subterráneas. Eci*.

- Toledo, J. (2015). *Aplicación de los métodos geoeléctricos en la prospección geofísica*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- UNESCO. (2022). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2022: aguas subterráneas: hacer visible el recurso invisible. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Educación, La Ciencia y La Cultura*, 12.
https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380726_spa?fbclid=IwAR37K3mY5OKdAaGGOS_9Fouu2Kpk9S87EnDLf_MztKU0uGHVDjTKFmcwGPK
- United Nations Environment Programme (1992). International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st century*. (n.d.).
<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/30961>
- Van Dam, J. C., & Meulenkamp, J. J. (1967). Some Results of the geo-electrical method in ground water investigations in the Netherlands. *Geophysical Prospecting*, 15(1), 92–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1967.tb01775.x>
- Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., & Debán, L. (1998). Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, 32, 3581–3592.
- Villegas, P. (2013). *Caracterización Isotópica del Acuífero del Golfo de Arubá, Utilizando 2H, 18O, 14C Y 13C*. 103.
- Wold, S., Esbensen, K., & Geladi, P. (1987). Principal component analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2(1), 37–52.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0169-7439\(87\)80084-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0169-7439(87)80084-9)
- Zwanziger, J., Melnick, G. A., & Bamezai, A. (1997). *Policy Imp act The Effect of Selective Contracting on Hospital Costs and Revenues*.

ANEXOS

Anexo 1. Álbum fotográfico



Figura 43. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 1 en el sector Alfonso Ugarte



Figura 44. Realización del Sondaje Eléctrico Vertical 2 en el sector Alfonso Ugarte



Figura 45. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 1 Sector Quety Chaullacamani



Figura 46. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 2 Sector Quety Chaullacamani



Figura 47. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 1 en el sector Sancuta

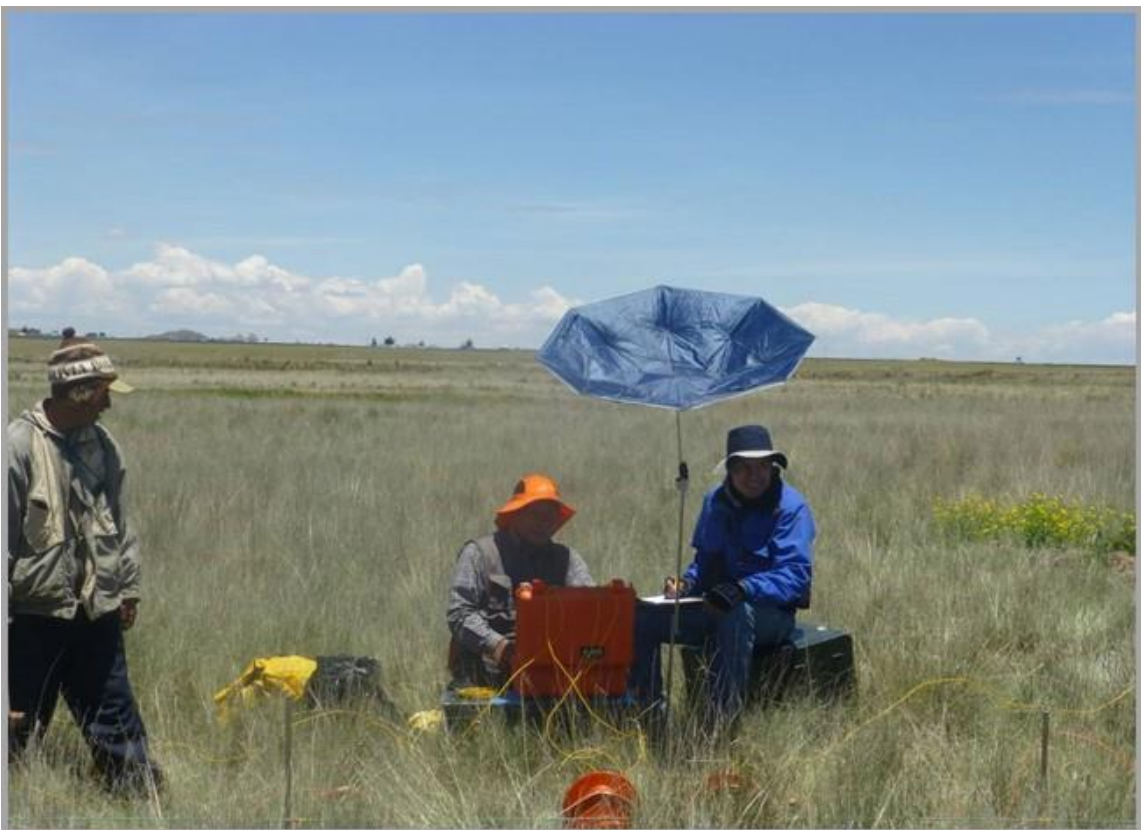


Figura 48. Realización de Sondaje Eléctrico Vertical 2 en el sector Sancuta

Anexo 2. Data de los sondeos eléctricos verticales (DATA SEV)

DATA SEV 1: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	22.67		
4	2	22.9		
5	2	24.56		
7	2	26.76		
8	2	28.09		
10	2	30.57		
10	5	33.57		
12	5	35.14		
15	5	37.62		
18	5	40.01		
20	5	41.25		
25	5	42.1		
30	5	42.7		
40	5	41.64		
50	5	40.15		
50	20	40		
60	20	38.15		
70	20	35.84		
80	20	34.44		
100	20	30.21		

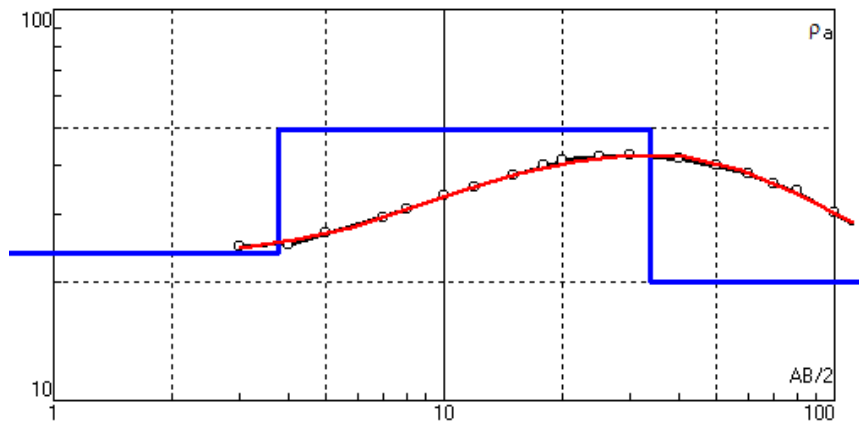
DATA SEV 3: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	47.03		
4	2	33.4		
5	2	28.45		
7	2	25.97		
8	2	27.83		
10	2	30.53		
10	5	31.96		
12	5	33.93		
15	5	38.4		
18	5	40.97		
20	5	42.95		
25	5	47.51		
30	5	51		
40	5	56.26		
50	5	58.76		
50	20	62.1		
60	20	59.46		
70	20	55.49		
80	20	51.36		
100	20	45.36		

DATA SEV 2: Bloc de notas

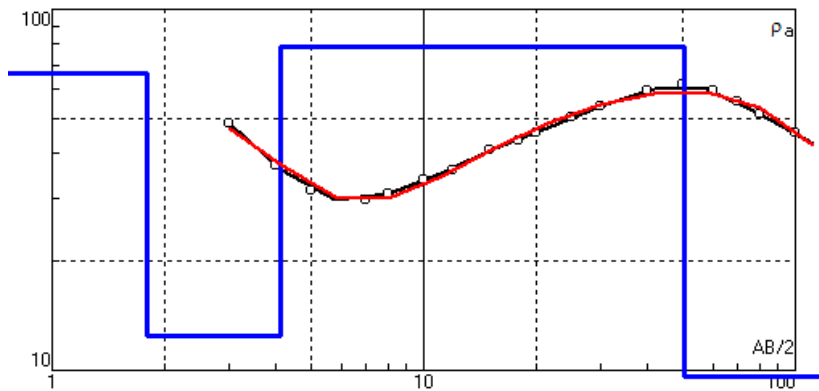
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	19.77		
4	2	22.93		
5	2	25.18		
7	2	28.71		
8	2	29.72		
10	2	30.45		
10	5	30.12		
12	5	29.36		
15	5	30.72		
18	5	33.01		
20	5	34.37		
25	5	36.94		
30	5	40.31		
40	5	44.04		
50	5	49.56		
50	20	52.2		
60	20	54.16		
70	20	53.28		
80	20	50.81		
100	20	45.34		

SEV 1–SEV 2–SEV 3
SANCUTA - PILCUYO



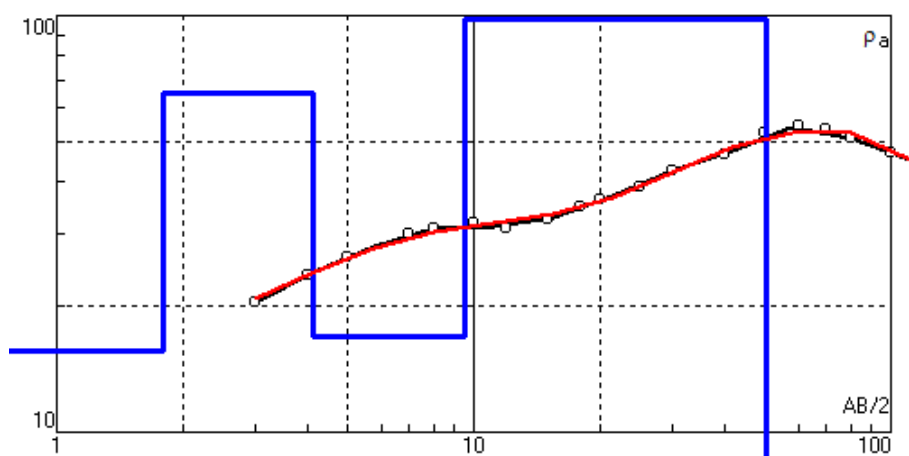
N	ρ	h	d	Alt
1	23.69	3.774	3.774	-3.773
2	49.39	30.12	33.9	-33.89
3	20.11			

SEV 1
SANCUTA - PILCUYO



N	ρ	h	d	Alt
1	15.68	1.8	1.8	-1.8
2	64.83	2.332	4.132	-4.132
3	16.93	5.354	9.487	-9.486
4	97.74	40.85	50.34	-50.33
5	4.469			

SEV 2
SANCUTA - PILCUYO



N	ρ	h	d	Alt
1	66.2	1.8	1.8	-1.8
2	12.5	2.33	4.13	-4.13
3	78.6	46.1	50.3	-50.2
4	9.59			

SEV 3
SANCUTA - PILCUYO

DATA SEV 1: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	198.81		
4	2	99.77		
5	2	68.89		
7	2	44.56		
8	2	44.01		
10	2	49.15		
10	5	52.11		
12	5	57.22		
15	5	65.45		
18	5	73.24		
20	5	80.67		
25	5	91.84		
30	5	103.61		
40	5	115.54		
50	5	114.23		
50	20	112.11		
60	20	103.45		
70	20	93.22		
80	20	83.16		
100	20	65.89		

SEV 1
KAPUJAVIRA

DATA SEV 3: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	44.15		
4	2	39.4		
5	2	37.03		
7	2	39.47		
8	2	41.7		
10	2	44.05		
10	5	46.25		
12	5	50.11		
15	5	53.48		
18	5	58.33		
20	5	60.21		
25	5	65.2		
30	5	69.43		
40	5	75.5		
50	5	78.84		
50	20	77.39		
60	20	81.75		
70	20	83.44		
80	20	80.13		
100	20	76.65		

SEV 3
KETY

DATA SEV 2: Bloc de notas

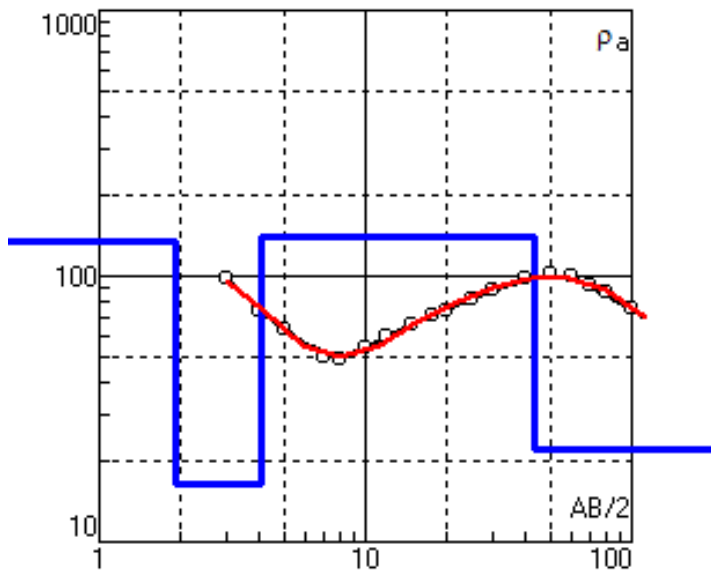
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	312.92		
4	2	130.52		
5	2	89.76		
7	2	60		
8	2	55.6		
10	2	52.71		
10	5	55.5		
12	5	56.68		
15	5	61.35		
18	5	65.45		
20	5	68.35		
25	5	75.49		
30	5	83.6		
40	5	96.66		
50	5	100		
50	20	96.7		
60	20	92.14		
70	20	87.5		
80	20	80		
100	20	66.17		

SEV 2
KAPUJAVIRA

DATA SEV 4: Bloc de notas

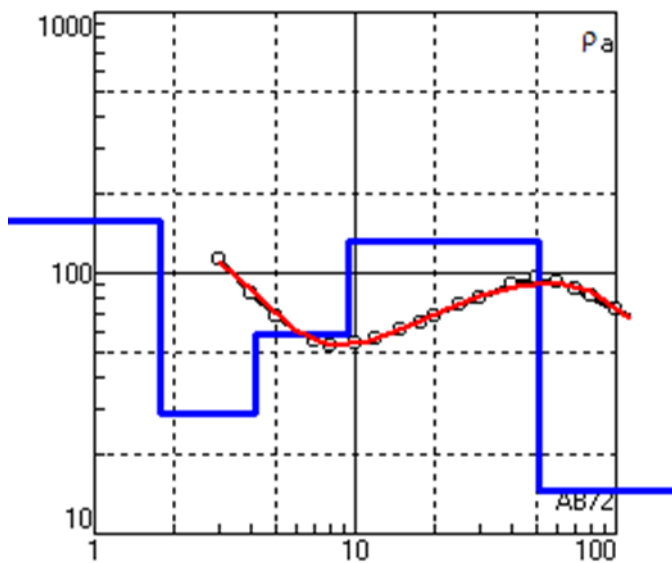
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	31.31		
4	2	31.91		
5	2	33.44		
7	2	36.76		
8	2	40.1		
10	2	44.56		
10	5	43.44		
12	5	48.71		
15	5	53.33		
18	5	58.14		
20	5	60.2		
25	5	66.72		
30	5	70.1		
40	5	77.78		
50	5	83.56		
50	20	80.11		
60	20	82.6		
70	20	82.4		
80	20	78.33		
100	20	70		

SEV 4
KETY



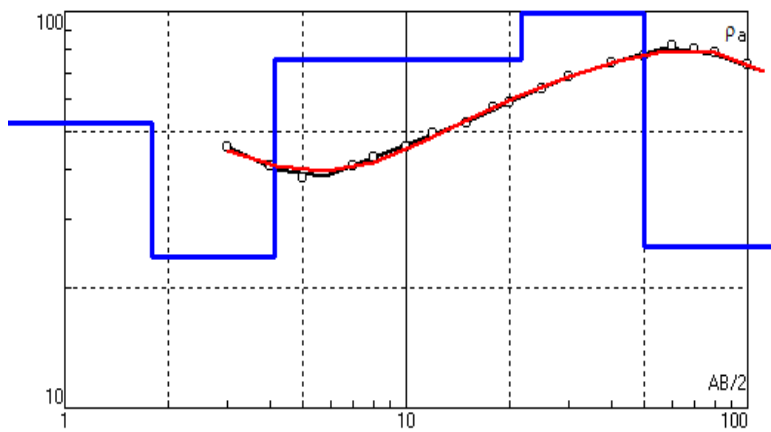
N	ρ	h	d	Alt
1	135.4	1.951	1.951	-1.950
2	16.66	2.095	4.046	-4.045
3	139.2	39.14	43.18	-43.18
4	22.39			

SEV 1
KAPUJAVIRA



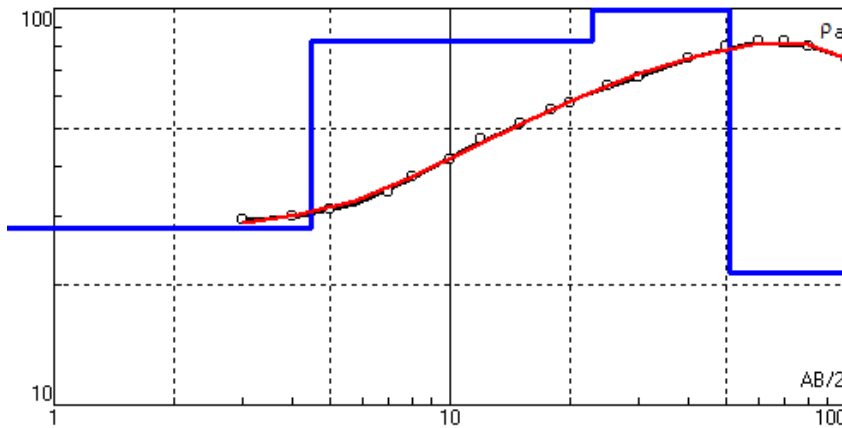
N	ρ	h	d	Alt
1	160	1.8	1.8	-1.8
2	28.6	2.33	4.13	-4.13
3	58.1	5.35	9.49	-9.48
4	133	41.2	50.7	-50.7
5	14.5			

SEV 2
KAPUJAVIRA



N	ρ	h	d	Alt
1	52.47	1.8	1.8	-1.8
2	24.07	2.332	4.132	-4.132
3	75.64	17.66	21.79	-21.79
4	143.4	28.22	50.01	-50.01
5	25.64			

SEV 3
KETY



N	ρ	h	d	Alt
1	27.86	4.445	4.445	-4.445
2	82.96	18.34	22.78	-22.78
3	153.3	28.2	50.98	-50.98
4	21.48			

SEV 4
KETY

DATA SEV 1: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	53.96		
4	2	44.51		
5	2	38.86		
7	2	36.26		
8	2	35.85		
10	2	37.97		
10	5	36.25		
12	5	37.87		
15	5	38.81		
18	5	40.06		
20	5	41.35		
25	5	41.72		
30	5	42.97		
40	5	43.2		
50	5	44.45		
50	20	45.18		
60	20	47.2		
70	20	50.1		
80	20	54.11		
100	20	60.47		

SEV 1
B.A. UGARTE-PILCUYO

DATA SEV 3: Bloc de notas

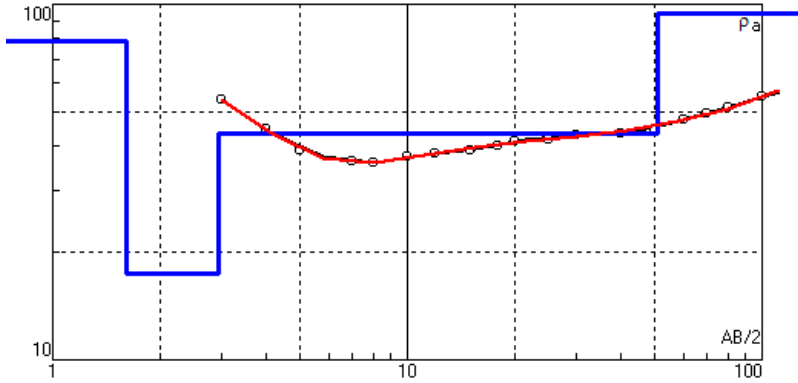
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	57.32		
4	2	56.18		
5	2	55.83		
7	2	55.4		
8	2	54.22		
10	2	53.42		
10	5	55.01		
12	5	51.6		
15	5	48.94		
18	5	48.67		
20	5	48.68		
25	5	49.15		
30	5	49.33		
40	5	51.32		
50	5	49.55		
50	20	51.4		
60	20	44.3		
70	20	40.1		
80	20	34.4		
100	20	27.27		

SEV 3
B.A. UGARTE-PILCUYO

DATA SEV 2: Bloc de notas

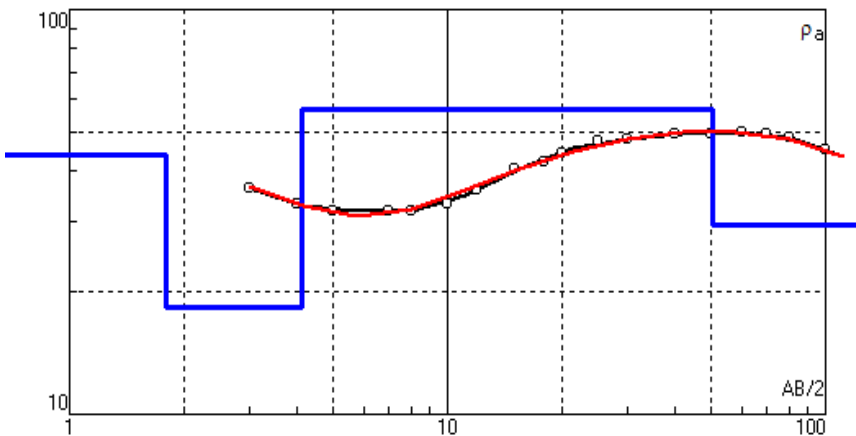
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
AB/2	MN	Ro_a		
3	2	40.45		
4	2	36.94		
5	2	35.63		
7	2	35.41		
8	2	35.51		
10	2	36.89		
10	5	34.78		
12	5	37.8		
15	5	42.36		
18	5	44.21		
20	5	46.71		
25	5	49.74		
30	5	50.31		
40	5	51.8		
50	5	52.1		
50	20	49.49		
60	20	50.3		
70	20	48.33		
80	20	47		
100	20	44.1		

SEV 2
B.A. UGARTE-PILCUYO



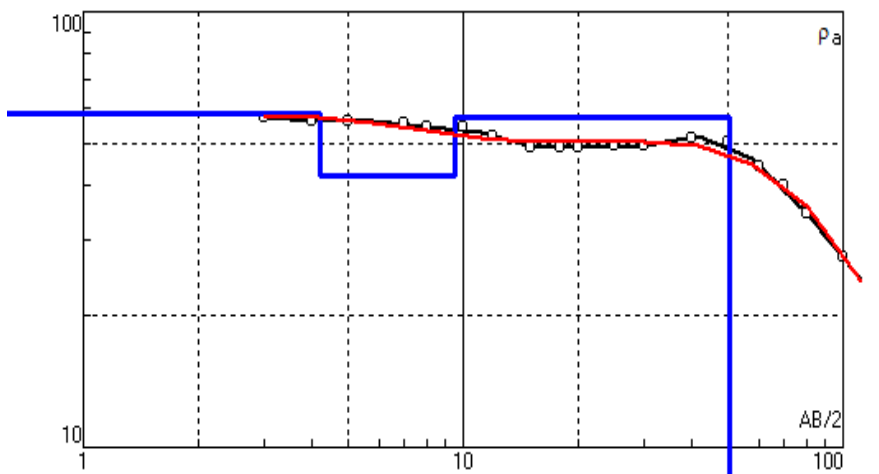
N	ρ	h	d	Alt
1	78.44	1.611	1.611	-1.610
2	17.51	1.315	2.926	-2.925
3	43.15	47.77	50.7	-50.69
4	93.73			

SEV 1
B.A. UGARTE-PILCUYO



N	ρ	h	d	Alt
1	43.82	1.8	1.8	-1.8
2	18.44	2.332	4.132	-4.132
3	56.39	46.16	50.29	-50.29
4	29.31			

SEV 2
B.A. UGARTE-PILCUYO



N	ρ	h	d	Alt
1	58.5	4.2	4.2	-4.194
2	42.1	5.35	9.55	-9.552
3	57.3	40.5	50.1	-50.07
4	3.67			

SEV 3
B.A. UGARTE-PILCUYO

Anexo 3. Certificados de Análisis de Agua Pozos 01,02,03-Sancuta y otros



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 0158- 2020 PÁGINA 1 DE 4

SOLICITANTE : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PILCUYO

DIRECCIÓN : JR. ALFONSO UGARTE NRO. S/N CERCADO (PLAZA DE ARMAS LOCAL MUNICIPAL) PUNO - EL COLLAO - PILCUYO

PRODUCTO DECLARADO : AGUA SUBTERRÁNEA

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO : Líquido transparente.

CODIFICACIÓN / MARCA : Línea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 1 "Chaya Pujo" UTM: 19K 0443707, 8219100, 3820 m.s.n.m. (H-1)

DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE : Ninguno

TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA : 01 muestra de 3600 mL. Compuesta de 01 envase de vidrio de 1000 mL, 01 envase de vidrio de 500 mL para análisis MB; 01 envase PE de 1000 mL, 02 envases PE de 500 mL c/u, 01 envase PE de 100 mL para análisis FQ.

PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN : En envases de vidrio y polietileno cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.7°C.

CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : Muestreada y Transportada por BHIOS LABORATORIOS

CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA : Ninguna (por ser muestra única)

FECHA PRODUCCIÓN : No especificada

FECHA DE VENCIMIENTO : No especificada

CONTRATO N° : 0055-2020

FECHA DE RECEPCIÓN : 14/01/2020

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Periodo de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-08-F-05-E Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 RPC 983768883 RPM #954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 0158- 2020
PÁGINA 2 DE 4

DETALLE DE LA TOMA DE MUESTRA

PLAN/PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : 0025-2020 / BHIOS-IM-008
REGISTRO DE MUESTREO N° : 0025-20-01
FECHA Y HORA DEL MUESTREO : 14/01/2020 07:15 hr.
DIRECCIÓN DEL MUESTREO : Comunidad Campesina Sancuta S/N - Pílcuyo - Collao - Puno
AREA / PUNTO DEL MUESTREO : Línea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 1 "Chaya Pujo" UTM: 19K 0443707, 8219100, 3820 m.s.n.m.
CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura (°C) en campo: 13.3 Código Equipo: E-533
OBSERVACIONES DE TOMA DE MUESTRA : Ninguna

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUBTERRÁNEA	
		Línea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 1 "Chaya Pujo" UTM: 19K 0443707, 8219100, 3820 m.s.n.m. (H-1)	UNIDADES
MB	OVL-Protozoarios (Cuantificación)*	255315	Org./L
MB	Numeración de Coliformes totales	170	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	4.5	NMP/100mL
MB	Recuento de Microorganismos Heterótrofos	940	ufc/mL
MB	Quistes y coquistes de protozoarios patógenos. (Cuantificación 1L)*	<1	Quistes/L
MB	OVL-Rotíferos (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	Numeración de Escherichia coli (NMP)	4.5	NMP/100mL
MB	Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L)*	<1	Huevos/L
MB	Larvas de Helmintos (Cuantificación 1L)*	<1	Org./L
MB	OVL-Algas (Cuantificación)*	21660	Org./L
MB	OVL-Copepodos (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	OVL-Nemátodos (Cuantificación)*	<1	Org./L
FQ	Turbidez*	7.50	NTU
FQ	pH	7.5	U de pH
FQ	Sólidos Disueltos Totales	227	mg/L
FQ	Dureza Total (como CaCO ₃)	159.14	mg/L
FQ	Conductividad (25°C)	438	µS/cm
FQ	Color*	9	U de color
FQ	Cianuro Total*	<0.01	mg/L

ABREVIATURAS:

Org./L : Organismos por litro
 U de color : Unidades de color
 Huevos/L : Huevos por litro
 U de pH : Unidades de pH
 µS/cm : Microsiemens por centímetro
 NTU : Unidades nefelométricas de turbidez
 mg/L : Miligramos por litro
 Quistes/L : Quistes por litro
 ufc/mL : Unidades formadoras de colonia por mililitro
 NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

OBSERVACIONES :

* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

OVL-Protozoarios (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9711 Pathogenic Protozoa Pag. 1 e.5. / Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
 Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube Fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0158- 2020
PÁGINA 3 DE 4

MÉTODOS UTILIZADOS :

- Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-E Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Fecal Coliform Procedure. 23rd Ed. 2017.
- Recuento de Microorganismos Heterótrofos : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9215-B Heterotrophic Plate Count: Pour Plate Method. 23rd Ed. 2017.
- Quistes y oquistes de protozoarios patógenos. (Cuantificación 1L) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9711 Pathogenic Protozoa Pag. 1 e5. /Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- OVL-Rotíferos (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- Numeración de Escherichia coli (NMP) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000 9221-F Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. 23rd Ed. 2017.
- Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- Larvas de Helmintos (Cuantificación 1L) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- OVL-Algas (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- OVL-Copépodos (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- OVL-Nemátodos (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10750 Nematological Examination. Pag. 10-98 a 10-113. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- Turbidez : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2130-B. Turbidity. Nephelometric Method. 23rd Ed. 2017.
- pH : Environmental Protection Agency. Method 150.1. pH (Electrometric). 1999
- Sólidos Disueltos Totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2540-C. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C. P23rd Ed. 2017.
- Dureza Total (como CaCO₃) : Norma Técnica Peruana 214.018: 1999 (Revisada el 2019) Agua para consumo Humano. Determinación de la dureza. Método Volumétrico con EDTA.
- Conductividad (25°C) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000 Method 2510-B Conductivity. Laboratory Method. 23rd Ed. 2017
- Color : Water Analysis Handbook HACH. Color True and Apparent. Method 8025: Platinum-Cobalt Standard Method. Pag. 381. 4th Ed.
- Cianuro Total : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000 Method 4500-CN-J. Cyanide. Cyanogen Chloride. Colorimetric Method. 23rd Ed. 2017.

Metales Totales (DS 031)

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUBTERRÁNEA	
		Línea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 1 "Chaya Pujó" UTM: 19K 0443707, 8219100, 3820 m.s.n.m. (H-1)	
FQ	Al (Aluminio)*	0.11	mg/L
FQ	As (Arsénico)*	0.06805	mg/L
FQ	B (Boro)*	0.102	mg/L
FQ	Ba (Bario)*	0.2066	mg/L
FQ	Cd (Cadmio)*	<0.00001	mg/L
FQ	Cr (Cromo)*	0.00118	mg/L
FQ	Cu (Cobre)*	0.001	mg/L
FQ	Fe (Hierro)*	0.97	mg/L
FQ	Hg (Mercurio)*	<0.0005	mg/L
FQ	Mn (Manganeso)*	0.9008	mg/L
FQ	Mo (Molibdeno)*	0.00036	mg/L
FQ	Na (Sodio)*	22.85	mg/L
FQ	Ni (Níquel)*	0.0008	mg/L
FQ	Pb (Plomo)*	0.0004	mg/L
FQ	Sb (Antimonio)*	<0.00005	mg/L
FQ	Se (Selenio)*	<0.0001	mg/L
FQ	U (Uranio)*	0.00011	mg/L
FQ	Zn (Zinc)*	0.011	mg/L



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0158-2020
PÁGINA 4 DE 4

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro

OBSERVACIONES :

* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

Metales Totales (DS 031) : Environmental Protection Agency, Method 8020A, Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy, Revision 1.0 12007

Aniones (DS 031)

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUBTERRÁNEA	
			UNIDADES
		Línea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 1 "Chaya Pujo" UTM: 19K 0443707, 8219100, 3820 m.s.n.m. (H-1)	
FQ	Cloruro (Cl ⁻)*	21.26	mg/L
FQ	Fluoruro (F ⁻)*	0.07	mg/L
FQ	Nitrato (NO ₃ ⁻)*	<0.3	mg/L
FQ	Nitrito (NO ₂ ⁻)*	<0.002	mg/L
FQ	Sulfato (SO ₄ ⁻²)*	1.49	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro

OBSERVACIONES :

* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

Aniones (DS 031) : Environmental Protection Agency, Method 300.0 Determination of Inorganic anions by Ion Chromatography Revision 2.1 August 1993

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 14/01/2020 al 18/01/2020

MB 14/01/2020 al 23/01/2020

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 23/01/2020



Miguel Valdivia Martínez
Bigo, Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0159-2020
PÁGINA 1 DE 4

SOLICITANTE : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PILCUYO

DIRECCIÓN : JR. ALFONSO UGARTE NRO. SIN CERCADO (PLAZA DE ARMAS LOCAL MUNICIPAL) PUNO - EL COLLAO - PILCUYO

PRODUCTO DECLARADO : AGUA SUBTERRÁNEA

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO : Líquido transparente.

CODIFICACIÓN / MARCA : Línea de salida de bomba sumergible conectada a pozo N° 2 "Fuño Thiza" / UTM: 19K 0443952, 8219525, 3828 m.s.n.m. (H-2)

DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE : Ninguno

TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA : 01 muestra de 5100 mL. Compuesta de 01 envase de vidrio de 1000 mL, 02 envases de vidrio de 500 mL c/u para análisis MB; 01 envase PE de 1000 mL, 04 envases PE de 500 mL c/u, 01 envase PE de 100 mL para análisis FQ.

PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN : En envases de vidrio y polietileno cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.7°C.

CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : Muestreada y Transportada por BHIOS LABORATORIOS

CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA : Ninguna (por ser muestra única)

FECHA PRODUCCIÓN : No especificada

FECHA DE VENCIMIENTO : No especificada

CONTRATO N° : 0055-2020

FECHA DE RECEPCIÓN : 14/01/2020

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0159-2020
PÁGINA 2 DE 4

DETALLE DE LA TOMA DE MUESTRA

PLAN/PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : 0025-2020 / BHIOS-IM-008
REGISTRO DE MUESTREO N° : 0025-20-02
FECHA Y HORA DEL MUESTREO : 14/01/2020 07:45
DIRECCIÓN DEL MUESTREO : Comunidad Campesina Peñaloza S/N - Pílcuyo - Collao - Puno
AREA / PUNTO DEL MUESTREO : Línea de salida de bomba sumergible conectada a pozo N° 2 "Fuño Thiza" / UTM: 19K 0443952, 8219525, 3828 m.s.n.m.
CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura (°C) en campo: 13.4 Código Equipo: E-533
OBSERVACIONES DE TOMA DE MUESTRA : Ninguna

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUBTERRÁNEA	
		Línea de salida de bomba sumergible conectada a pozo N° 2 "Fuño Thiza" / UTM: 19K 0443952, 8219525, 3828 m.s.n.m. (H-2)	UNIDADES
MB	OVL-Protozoarios (Cuantificación)*	53610	Org./L
MB	Numeración de Coliformes totales	700	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	220	NMP/100mL
MB	Recuento de Microorganismos Heterótrofos	580	ufc/mL
MB	Quistes y coquistes de protozoarios patógenos. (Cuantificación 1L)*	<1	Quistes/L
MB	OVL-Rotíferos (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	Numeración de Escherichia coli (NMP)	220	NMP/100mL
MB	Huevos de Helminfos (Cuantificación 1L)*	<1	Huevos/L
MB	Larvas de Helminfos (Cuantificación 1L)*	<1	Org./L
MB	OVL-Algas (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	OVL-Copépodos (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	OVL-Nemátodos (Cuantificación)*	<1	Org./L
FQ	Turbidez*	0.94	NTU
FQ	pH	7.3	U de pH
FQ	Sólidos Disueltos Totales	194	mg/L
FQ	Dureza Total (como CaCO ₃)	127.54	mg/L
FQ	Conductividad (25°C)	375	µS/cm
FQ	Color*	<5	U de color
FQ	Cianuro Total*	<0.01	mg/L

ABREVIATURAS:

µS/cm : Microsiemens por centímetro
mg/L : Miligramos por litro
Huevos/L : Huevos por litro
U de pH : Unidades de pH
NTU : Unidades nefelométricas de turbidez
U de color : Unidades de color
Quistes/L : Quistes por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros
Org./L : Organismos por litro
ufc/mL : Unidades formadoras de colonia por mililitro

OBSERVACIONES :

* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

OVL-Protozoarios (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 19000. 9711 Pathogenic Protozoa Pag. 1 a 5. / Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 19000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0159-2020
PÁGINA 3 DE 4

MÉTODOS UTILIZADOS :

Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-E Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group; Fecal Coliform Procedure. 23rd Ed. 2017.
Recuento de Microorganismos Heterótrofos	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9215-B Heterotrophic Plate Count: Pour Plate Method. 23rd Ed. 2017.
Quistes y oocistos de protozoarios patógenos. (Cuantificación 1L)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9711 Pathogenic Protozoa Pag. 1 a 5. /Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
OVL-Rotíferos (Cuantificación)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
Numeración de Escherichia coli (NMP)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000 9221-F Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group; Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. 23rd Ed. 2017.
Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
Larvas de Helmintos (Cuantificación 1L)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
OVL-Algas (Cuantificación)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
OVL-Copépodos (Cuantificación)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
OVL-Nemátodos (Cuantificación)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10750 Nematological Examination. Pag. 10-98 a 10-113. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
Turbidez	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2130-B. Turbidity. Nephelometric Method. 23rd Ed. 2017.
pH	: Environmental Protection Agency, Method 150.1. pH (Electrometric). 1999
Sólidos Disueltos Totales	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000. Method 2540-C. Solids, Total Dissolved Solids Dried at 180°C. P23rd Ed. 2017.
Dureza Total (como CaCO ₃)	: Norma Técnica Peruana 214.018: 1999 (Revisada el 2019) Agua para consumo Humano. Determinación de la dureza. Método Volumétrico con EDTA.
Conductividad (25°C)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000 Method 2510-B Conductivity. Laboratory Method. 23rd Ed. 2017
Color	: Water Analysis Handbook HACH. Color True and Apparent. Method 8025: Platinum-Cobalt Standard Method. Pag. 381. 4th Ed.
Cianuro Total	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000 Method 4500-CN-J. Cyanide. Cyanogen Chloride. Colorimetric Method. 23rd Ed. 2017.

Metales Totales (DS 031)

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUBTERRÁNEA	
		Línea de salida de bomba sumergible conectada a pozo N° 2 "Fuño Thiza" / UTM: 19K 0443952, 8219525, 3828 m.s.n.m. (H-2)	UNIDADES
FQ	Al (Aluminio)*	0.06	mg/L
FQ	As (Arsénico)*	0.02414	mg/L
FQ	B (Boro)*	0.064	mg/L
FQ	Ba (Bario)*	0.1123	mg/L
FQ	Cd (Cadmio)*	<0.00001	mg/L
FQ	Cr (Cromo)*	0.00063	mg/L
FQ	Cu (Cobre)*	<0.001	mg/L
FQ	Fe (Hierro)*	0.19	mg/L
FQ	Hg (Mercurio)*	<0.0005	mg/L
FQ	Mn (Manganeso)*	0.6146	mg/L
FQ	Mo (Molibdeno)*	0.00119	mg/L
FQ	Na (Sodio)*	20.10	mg/L
FQ	Ni (Níquel)*	0.0007	mg/L
FQ	Pb (Plomo)*	0.0004	mg/L
FQ	Sb (Antimonio)*	0.00007	mg/L
FQ	Se (Selenio)*	<0.0001	mg/L
FQ	U (Uranio)*	0.00019	mg/L
FQ	Zn (Zinc)*	0.007	mg/L



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0159-2020
PÁGINA 4 DE 4

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro

OBSERVACIONES :

* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

Metales Totales (DS 031) : Environmental Protection Agency, Method 6020A, Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy, Revision 1.0 12007

Aniones (DS 031)

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUBTERRÁNEA		UNIDADES
		Línea de salida de bomba sumergible conectada a pozo N° 2 "Fuño Thiza" / UTM: 19K 0443952, 8219525, 3828 m.s.n.m. (H-2)		
FQ	Cloruro (Cl) ⁻ *		31.94	mg/L
FQ	Fluoruro (F) ⁻ *		0.06	mg/L
FQ	Nitrato (NO ₃) ⁻ *		0.9	mg/L
FQ	Nitrilo (NO ₂) ⁻ *		<0.002	mg/L
FQ	Sulfato (SO ₄) ⁻² *		7.42	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro

OBSERVACIONES :

* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

Aniones (DS 031) : Environmental Protection Agency, Method 300.0 Determination of inorganic anions by Ion Chromatography Revision 2.1 August 1993

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 14/01/2020 al 18/01/2020

MB 14/01/2020

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 23/01/2020



Miguel Valdivia Martínez
Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 0160- 2020
PÁGINA 1 DE 4

SOLICITANTE	: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PILCUYO
DIRECCIÓN	: JR. ALFONSO UGARTE NRO. S/N CERCADO (PLAZA DE ARMAS LOCAL MUNICIPAL) PUNO - EL COLLAO - PILCUYO
PRODUCTO DECLARADO	: AGUA SUBTERRÁNEA
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido Ligeramente Turbio
CODIFICACIÓN / MARCA	: Línea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 3 "Chijuyo Pampa" / UTM: 19K 0443515, 8219810, 3824 m.s.n.m. (H-3)
DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE	: Ninguno
TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA	: 01 muestra de 3600 mL. Compuesta de 01 envase de vidrio de 1000 mL, 01 envase de vidrio de 500 mL para análisis MB; 01 envase PE de 1000 mL, 02 envases PE de 500 mL c/u, 01 envase PE de 100 mL para análisis FQ.
PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN	: En envases de vidrio y polietileno cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.7°C.
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Muestreada y Transportada por BHIOS LABORATORIOS
CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA	: Ninguna (por ser muestra única)
FECHA PRODUCCIÓN	: No especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No especificada
CONTRATO N°	: 0055-2020
FECHA DE RECEPCIÓN	: 14/01/2020

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-08-F-05-IE Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 RPC 983768883 RPM #954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0160-2020
PÁGINA 2 DE 4

DETALLE DE LA TOMA DE MUESTRA

PLAN/PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : 0025-2020 / BHIOS-IM-008
REGISTRO DE MUESTREO N° : 0025-20-03
FECHA Y HORA DEL MUESTREO : 14/01/2020 08:30 hr.
DIRECCIÓN DEL MUESTREO : Comunidad Campesina Sancuta S/N - Pílcuyo - Collao - Puno
AREA / PUNTO DEL MUESTREO : Línea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 3 "Chijuyo Pampa" / UTM: 19K 0443515, 8219810, 3824 m.s.n.m.
CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura (°C) en campo: 15.7 Código Equipo: E-533
OBSERVACIONES DE TOMA DE MUESTRA : Ninguna

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUBTERRÁNEA	
		Línea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 3 "Chijuyo Pampa" / UTM: 19K 0443515, 8219810, 3824 m.s.n.m. (H-3)	UNIDADES
MB	OVL-Protozoarios (Cuantificación)*	27895	Org./L
MB	Numeración de Coliformes totales	11000	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	4.5	NMP/100mL
MB	Recuento de Microorganismos Heterótrofos	39000	ufc/mL
MB	Quistes y oocistos de protozoarios patógenos. (Cuantificación 1L)*	<1	Quistes/L
MB	OVL-Rotíferos (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	Numeración de Escherichia coli (NMP)	4.5	NMP/100mL
MB	Huevos de Helminfos (Cuantificación 1L)*	<1	Huevos/L
MB	Larvas de Helminfos (Cuantificación 1L)*	<1	Org./L
MB	OVL-Algas (Cuantificación)*	345775	Org./L
MB	OVL-Copépodos (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	OVL-Nemátodos (Cuantificación)*	<1	Org./L
FQ	Turbidez*	62.3	NTU
FQ	pH	7.5	U de pH
FQ	Sólidos Disueltos Totales	138	mg/L
FQ	Dureza Total (como CaCO ₃)	88.44	mg/L
FQ	Conductividad (25°C)	265	µS/cm
FQ	Color*	7	U de color
FQ	Cianuro Total*	<0.01	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro
ufc/mL : Unidades formadoras de colonia por mililitro
U de pH : Unidades de pH
Quistes/L : Quistes por litro
U de color : Unidades de color
Org./L : Organismos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros
µS/cm : Microsiemens por centímetro
Huevos/L : Huevos por litro
NTU : Unidades nefelométricas de turbidez

OBSERVACIONES :

* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

OVL-Protozoarios (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000.9711 Pathogenic Protozoa Pag. 1 a 5. / Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000.9221-B Multiple Tube Fermentation Technique for members of the coliform group; Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.

PRP-08-F-05-E Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 RPC 983768883 RPM #954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0160-2020
PÁGINA 3 DE 4

MÉTODOS UTILIZADOS :

- Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000.9221-E Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Fecal Coliform Procedure. 23rd Ed. 2017.
- Recuento de Microorganismos Heterótrofos : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000.9215-B Heterotrophic Plate Count: Pour Plate Method. 23rd Ed. 2017.
- Quistes y oquistes de protozoarios patógenos. (Cuantificación 1L) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000.9711 Pathogenic Protozoa Pag. 1 a 5. /Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- OVL-Rotíferos (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- Numeración de Escherichia coli (NMP) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000.9221-F Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. 23rd Ed. 2017.
- Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- Larvas de Helmintos (Cuantificación 1L) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- OVL-Algas (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- OVL-Copépodos (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- OVL-Nemátodos (Cuantificación) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10750 Nematological Examination. Pag. 10-98 a 10-113. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
- Turbidez : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000. Method 2130-B. Turbidity, Nephelometric Method. 23rd Ed. 2017.
- pH : Environmental Protection Agency. Method 150.1. pH (Electrometric). 1999
- Sólidos Disueltos Totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000. Method 2540-C. Solids Total/Dissolved Solids Dried at 180°C. P23rd Ed. 2017.
- Dureza Total (como CaCO₃) : Norma Técnica Peruana 214.018: 1999 (Revisada el 2019) Agua para consumo humano. Determinación de la dureza. Método Volumétrico con EDTA.
- Conductividad (25°C) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000 Method 2510-B Conductivity. Laboratory Method. 23rd Ed. 2017
- Color : Water Analysis Handbook HACH. Color True and Apparent. Method 8025: Platinum-Cobalt Standard Method. Pag.381. 4th Ed.
- Cianuro Total : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 4000 Method 4500-CN- J. Cyanide. Cyanogen Chloride. Colorimetric Method. 23rd Ed. 2017.

Metales Totales (DS 031)

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUBTERRÁNEA	
		Linea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 3 "Chijuyo Pampa" / UTM: 19K 0443515, 8219810, 3824 m.s.n.m.	UNIDADES
		(H-3)	
FQ	Al (Aluminio)*	0.65	mg/L
FQ	As (Arsénico)*	0.01005	mg/L
FQ	B (Boro)*	0.073	mg/L
FQ	Ba (Bario)*	0.0985	mg/L
FQ	Cd (Cadmio)*	0.00013	mg/L
FQ	Cr (Cromo)*	0.00117	mg/L
FQ	Cu (Cobre)*	0.008	mg/L
FQ	Fe (Hierro)*	1.03	mg/L
FQ	Hg (Mercurio)*	<0.0005	mg/L
FQ	Mn (Manganeso)*	0.1605	mg/L
FQ	Mo (Molibdeno)*	0.00173	mg/L
FQ	Na (Sodio)*	14.89	mg/L
FQ	Ni (Níquel)*	0.0014	mg/L
FQ	Pb (Plomo)*	0.0123	mg/L
FQ	Sb (Antimonio)*	0.00022	mg/L
FQ	Se (Selenio)*	0.0003	mg/L
FQ	U (Uranio)*	0.00028	mg/L
FQ	Zn (Zinc)*	0.013	mg/L

PRP-08-F-05-IE Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 RPC 983768883 RPM #954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 0160-2020
PÁGINA 4 DE 4

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro

OBSERVACIONES :

* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

Metales Totales (DS 031) : Environmental Protection Agency, Method 8020A, Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy, Revision 1.0 12007

Aniones (DS 031)

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUBTERRÁNEA	
			UNIDADES
		Línea de salida de bomba sumergible conectado a pozo N° 3 "Chijuyo Pampa" / UTM: 19K 0443515, 8219810, 3824 m.s.n.m.	
		(H-3)	
FQ	Cloruro (Cl ⁻)*	24.70	mg/L
FQ	Fluoruro (F ⁻)*	0.08	mg/L
FQ	Nitrato (NO ₃ ⁻)*	5.7	mg/L
FQ	Nitrilo (NO ₂ ⁻)*	0.072	mg/L
FQ	Sulfato (SO ₄ ⁻²)*	13.92	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro

OBSERVACIONES :

* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

Aniones (DS 031) : Environmental Protection Agency, Method 300.0 Determination of Inorganic anions by Ion Chromatography Revision 2.1 August 1993

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 14/01/2020 al 18/01/2020

MB 14/01/2020 al 21/01/2020

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 23/01/2020



Bigo, Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo 4. Resultados de los análisis fisicoquímicos por sectores

Tabla 41

Análisis fisicoquímicos obtenidos en el Sector Sancuta

			ANÁLISIS EN EL SECTOR DE SACUNTA SAC 01	EVALUACION SAC 01	ANÁLISIS EN EL SECTOR DE SACUNTA SAC 02	EVALUACION SAC 02	ANÁLISIS EN EL SECTOR DE SACUNTA SAC 03	EVALUACION SAC 03	PROMEDIO EN EL SECTOR DE SACUNTA	EVALUACION SAC PROMEDIO
MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad								
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS										
Conductividad (Laboratorio)	Conductividad (25°C)	µS/cm	436	CUMPLE	375	CUMPLE	265	CUMPLE	358.67	CUMPLE
pH (Campo)	pH	Unidades de pH	7.5	CUMPLE	7.3	CUMPLE	7.5	CUMPLE	7.43	CUMPLE
Turbidez	Turbidez	NTU	7.5	NO CUMPLE	0.94	CUMPLE	62.3	NO CUMPLE	23.58	NO CUMPLE
Color	Color Verdadero	UC	9	CUMPLE	4	CUMPLE	7	CUMPLE	6.67	CUMPLE
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO3/L	159.14	CUMPLE	127.64	CUMPLE	86.44	CUMPLE	124.41	CUMPLE
Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	227	CUMPLE	194	CUMPLE	138	CUMPLE	186.33	CUMPLE
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS										
Olor	Olor	---	ACEPTABLE	CUMPLE	ACEPTABLE	CUMPLE	ACEPTABLE	CUMPLE		CUMPLE
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA-Aniones										
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruros, Cl-	mg/L	21.26	CUMPLE	31.94	CUMPLE	24.7	CUMPLE	25.97	CUMPLE
	Nitratos, (como N)	mg/L	0.003	CUMPLE	0.9	CUMPLE	5.7	CUMPLE	2.20	CUMPLE
	Nitritos, (como N)	mg/L	0.001	CUMPLE	0.001	CUMPLE	0.072	CUMPLE	0.02	CUMPLE
	Sulfatos, SO4- 2	mg/L	1.49	CUMPLE	7.42	CUMPLE	13.92	CUMPLE	7.61	CUMPLE
ANÁLISIS DE METALES TOTALES										
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.11	CUMPLE	0.06	CUMPLE	0.65	NO CUMPLE	0.27	CUMPLE
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.00004	CUMPLE	0.00007	CUMPLE	0.00022	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Arsénico (As)	mg/L	0.06805	CUMPLE	0.02414	NO CUMPLE	0.01005	NO CUMPLE	0.03	NO CUMPLE
	Bario (Ba)	mg/L	0.2086	CUMPLE	0.1123	CUMPLE	0.0985	CUMPLE	0.14	CUMPLE
	Boro (B)	mg/L	0.102	CUMPLE	0.064	CUMPLE	0.073	CUMPLE	0.08	CUMPLE
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00001	CUMPLE	0.00001	CUMPLE	0.00013	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Cobre (Cu)	mg/L	0.001	CUMPLE	0.001	CUMPLE	0.008	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00118	CUMPLE	0.00063	CUMPLE	0.00117	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Hierro (Fe)	mg/L	0.97	NO CUMPLE	0.19	CUMPLE	1.03	NO CUMPLE	0.73	NO CUMPLE
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.9008	NO CUMPLE	0.8146	NO CUMPLE	0.1605	CUMPLE	0.63	NO CUMPLE
	Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00036	CUMPLE	0.00119	CUMPLE	0.00173	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Níquel (Ni)	mg/L	0.0008	CUMPLE	0.0007	CUMPLE	0.0014	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	CUMPLE	0.0004	CUMPLE	0.0123	NO CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Selenio (Se)	mg/L	0.0001	CUMPLE	0.0001	CUMPLE	0.0003	CUMPLE	0.00	CUMPLE
Sodio (Na)	mg/L	22.85	CUMPLE	20.1	CUMPLE	14.89	CUMPLE	19.28	CUMPLE	
Zinc (Zn)	mg/L	0.011	CUMPLE	0.007	CUMPLE	0.013	CUMPLE	0.01	CUMPLE	
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS										
Recuento de Bacterias Heterotróficas	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL	940	NO CUMPLE	580	NO CUMPLE	39000	NO CUMPLE	13506.67	NO CUMPLE
Numeración de Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	NMP/1000mL	4.5	NO CUMPLE	220	NO CUMPLE	4.5	NO CUMPLE	76.33	NO CUMPLE
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000mL	170	NO CUMPLE	700	NO CUMPLE	11000	NO CUMPLE	3956.67	NO CUMPLE
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000mL	4.5	NO CUMPLE	220	NO CUMPLE	4.5	NO CUMPLE	76.33	NO CUMPLE
Huevos y Larvas de Helmintos	Huevos y Larvas de Helmintos	N° Org/L	0	-	0	-	0	-	0.00	-
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	N° Org/L	0	-	0	-	0	-	0.00	-
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VILDA LIBRE (OVL)										
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L	21660	NO CUMPLE	0	NO CUMPLE	345775	NO CUMPLE	122478.33	NO CUMPLE
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L	0	CUMPLE	0	CUMPLE	0	CUMPLE	0.00	CUMPLE
Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L	0	CUMPLE	0	CUMPLE	0	CUMPLE	0.00	CUMPLE
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismo/L	255315	NO CUMPLE	53810	NO CUMPLE	27695	NO CUMPLE	112273.33	NO CUMPLE
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismo/L	0	CUMPLE	0	CUMPLE	0	CUMPLE	0.00	CUMPLE

Tabla 42

Análisis fisicoquímicos obtenidos en el Sector Quety

			ANÁLISIS EN EL SECTOR DE QUETY CHQ 01	EVALUACION CHQ 01	ANÁLISIS EN EL SECTOR DE QUETY CHQ 02	EVALUACION CHQ 02	PROMEDIO EN EL SECTOR DE QUETY	EVALUACION CHQ PROMEDIO
MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad						
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS								
Conductividad (Laboratorio)	Conductividad (25°C)	µS/cm	755	CUMPLE	267	CUMPLE	511.00	CUMPLE
pH (Campo)	pH	Unid. de pH	10.47	NO CUMPLE	8	CUMPLE	9.24	NO CUMPLE
Turbidez	Turbidez	NTU	1.69	NO CUMPLE	2.52	CUMPLE	2.11	NO CUMPLE
Color	Color Verdadero	UC	4	CUMPLE	4	CUMPLE	4.00	CUMPLE
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO3/L	12.43	CUMPLE	78.58	CUMPLE	45.51	CUMPLE
Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	389	CUMPLE	139	CUMPLE	264.00	CUMPLE
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS								
Olor	Olor	---	ACEPTABLE	CUMPLE	ACEPTABLE	CUMPLE	ACEPTABLE	CUMPLE
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA-Aniones								
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruros, Cl-	mg/L	62.02	CUMPLE	40.01	CUMPLE	51.02	CUMPLE
	Nitratos, (como N)	mg/L	20.6	CUMPLE	108	NO CUMPLE	64.30	CUMPLE
	Nitritos, (como N)	mg/L	1.676	CUMPLE	0.018	CUMPLE	0.85	CUMPLE
	Sulfatos, SO4- 2	mg/L	54.91	CUMPLE	24.34	CUMPLE	39.63	CUMPLE
ANÁLISIS DE METALES TOTALES								
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.06	CUMPLE	0.02	CUMPLE	0.04	CUMPLE
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.00048	CUMPLE	0.00014	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Arsénico (As)	mg/L	0.00399	CUMPLE	0.00189	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Bario (Ba)	mg/L	0.0228	CUMPLE	0.0665	CUMPLE	0.04	CUMPLE
	Boro (B)	mg/L	0.144	CUMPLE	0.049	CUMPLE	0.10	CUMPLE
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00001	CUMPLE	0.00001	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Cobre (Cu)	mg/L	0.004	CUMPLE	0.001	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00302	CUMPLE	0.00076	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Hierro (Fe)	mg/L	0.05	CUMPLE	0.01	CUMPLE	0.03	CUMPLE
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.0018	CUMPLE	0.0021	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00223	CUMPLE	0.00028	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Niquel (Ni)	mg/L	0.0019	CUMPLE	0.0003	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Plomo (Pb)	mg/L	0.0001	CUMPLE	0.0002	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Selenio (Se)	mg/L	0.0004	CUMPLE	0.0001	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Sodio (Na)	mg/L	78.38	CUMPLE	11.77	CUMPLE	45.08	CUMPLE
Zinc (Zn)	mg/L	0.009	CUMPLE	0.095	CUMPLE	0.05	CUMPLE	
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS								
Recuento de Bacterias Heterotróficas	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL	14	CUMPLE	0	SIN DATO	7.00	CUMPLE
Numeración de Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	NMP/1000m L	1.8	NO CUMPLE	0	SIN DATO	0.90	NO CUMPLE
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000m L	1.8	NO CUMPLE	0	SIN DATO	0.90	NO CUMPLE
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000m L	1.8	NO CUMPLE	0	SIN DATO	0.90	NO CUMPLE
Huevos y Larvas de Helmintos	Huevos y Larvas de Helmintos	N° Org/L	0	-	0	SIN DATO	0.00	-
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	N° Org/L	0	-	0	SIN DATO	0.00	-
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VILDA LIBRE (OVL)								
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L	0	CUMPLE	0	SIN DATO	0.00	CUMPLE
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L	0	CUMPLE	0	SIN DATO	0.00	CUMPLE
Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L	0	CUMPLE	0	SIN DATO	0.00	CUMPLE
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismo/L	0	CUMPLE	53810	SIN DATO	26905.00	CUMPLE
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismo/L	0	CUMPLE	0	SIN DATO	0.00	CUMPLE

Tabla 43

Análisis fisicoquímicos obtenidos en el Sector de Alfonso Ugarte

MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	Unidad	ANÁLISIS EN EL SECTOR DE ALFONSO UGARTE AU 01	EVALUACION AU 01	ANÁLISIS EN EL SECTOR DE ALFONSO UGARTE AU 02	EVALUACION AU 02	PROMEDIO EN EL SECTOR DE ALFONSO UGARTE	EVALUACION AU PROMEDIO
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS								
Conductividad (Laboratorio)	Conductividad (25°C)	µS/cm	117.5	CUMPLE	131.6	CUMPLE	124.55	CUMPLE
pH (Campo)	pH	Unidades de pH	7.4	CUMPLE	7.5	CUMPLE	7.45	CUMPLE
Turbidez	Turbidez	NTU	3.36	CUMPLE	0.87	CUMPLE	2.12	CUMPLE
Color	Color Verdadero	UC	4	CUMPLE	4	CUMPLE	4.00	CUMPLE
Dureza Total	Dureza Total	mg CaCO3/L	35.95	CUMPLE	42.01	CUMPLE	38.98	CUMPLE
Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	61	CUMPLE	67	CUMPLE	64.00	CUMPLE
ANÁLISIS ORGANOLEPTICOS								
Olor	Olor	---	ACEPTABLE	CUMPLE	ACEPTABLE	CUMPLE	ACEPTABLE	CUMPLE
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA-Aniones								
Aniones por Cromatografía Iónica	Cloruros, Cl-	mg/L	0.27	CUMPLE	2.7	CUMPLE	1.49	CUMPLE
	Nitratos, (como N)	mg/L	1.3	CUMPLE	0.4	CUMPLE	0.85	CUMPLE
	Nitritos, (como N)	mg/L	0.001	CUMPLE	0.001	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Sulfatos, SO4- 2	mg/L	2.49	CUMPLE	5.16	CUMPLE	3.83	CUMPLE
ANÁLISIS DE METALES TOTALES								
Metales Totales	Aluminio (Al)	mg/L	0.07	CUMPLE	0.01	CUMPLE	0.04	CUMPLE
	Antimonio (Sb)	mg/L	0.00006	CUMPLE	0.00004	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Arsénico (As)	mg/L	0.02769	NO CUMPLE	0.02819	NO CUMPLE	0.03	NO CUMPLE
	Bario (Ba)	mg/L	0.0425	CUMPLE	0.0515	CUMPLE	0.05	CUMPLE
	Boro (B)	mg/L	0.044	CUMPLE	0.037	CUMPLE	0.04	CUMPLE
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00002	CUMPLE	0.00001	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Cobre (Cu)	mg/L	0.001	CUMPLE	0.001	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Cromo (Cr)	mg/L	0.00015	CUMPLE	0.00009	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Hierro (Fe)	mg/L	0.62	NO CUMPLE	0.36	NO CUMPLE	0.49	NO CUMPLE
	Manganeso (Mn)	mg/L	0.1873	CUMPLE	0.5657	NO CUMPLE	0.38	CUMPLE
	Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00193	CUMPLE	0.0011	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Níquel (Ni)	mg/L	0.0002	CUMPLE	0.0001	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Plomo (Pb)	mg/L	0.001	CUMPLE	0.0001	CUMPLE	0.00	CUMPLE
	Selenio (Se)	mg/L	0.0001	CUMPLE	0.0001	CUMPLE	0.00	CUMPLE
Sodio (Na)	mg/L	7.02	CUMPLE	6.92	CUMPLE	6.97	CUMPLE	
Zinc (Zn)	mg/L	0.01	CUMPLE	0.01	CUMPLE	0.01	CUMPLE	
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS								
Recuento de Bacterias Heterotróficas	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL	390	CUMPLE	2	CUMPLE	196.00	CUMPLE
Numeración de Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	NMP/1000mL	1.8	NO CUMPLE	1.8	NO CUMPLE	1.80	NO CUMPLE
Numeración de Coliformes Totales	Coliformes Totales	NMP/1000mL	170	NO CUMPLE	1.8	NO CUMPLE	85.90	NO CUMPLE
Numeración de Escherichia Coli	Escherichia Coli	NMP/1000mL	1.8	NO CUMPLE	1.8	NO CUMPLE	1.80	NO CUMPLE
Huevos y Larvas de Helminetos	Huevos y Larvas de Helminetos	N° Org/L	0	-	0	-	0.00	-
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	N° Org/L	0	-	0	-	0.00	-
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS-ORGANISMOS DE VILDA LIBRE (OVL)								
Organismos de Vida Libre, Algas	Organismos de Vida Libre, Algas	Organismo/L	191875	NO CUMPLE	12310	NO CUMPLE	102092.50	NO CUMPLE
Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismos de Vida Libre, Copépodos	Organismo/L	0	CUMPLE	0	CUMPLE	0.00	CUMPLE
Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismos de vida Libre, Nemátodos en sus Estados Evolutivos	Organismo/L	0	CUMPLE	0	CUMPLE	0.00	CUMPLE
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismos de Vida Libre, Protozoarios	Organismo/L	92120	NO CUMPLE	62595	NO CUMPLE	77357.50	NO CUMPLE
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismos de Vida Libre, Rotíferos	Organismo/L	0	CUMPLE	0	CUMPLE	0	CUMPLE