UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO EN LA CABECERA DE LA SUBCUENCA DE MACUYA, MEDIANTE PROSPECCION GEOFÍSICA

Tesis presentada por el Bachiller: JANNET VANEZA COLQUEHUANCA QUISPE

Para optar el Título profesional de: INGENIERO GEOFÍSICO

AREQUIPA – PERU 2015

Dedicatoria

A Dios, por ser mi mayor fortaleza, mi guía, por haberme dado la oportunidad de vivir y haber puesto en mi destino a una familia maravillosa "Los pilares de mi vida".

A mi Madre, por guiarme y darme el mejor ejemplo de la lucha constante y no rendirse ante las peores adversidades.

A mi Padre, por enseñarme la verdadera esencia de la excelencia y la humildad.

A mi Hermana, por haberme dado la lección más importante de mi vida "El equilibrio".

Agradecímientos

Agradezco a Dios, por todo su amor, por guiar y bendecir cada uno de mis pasos y por haberme dado una familia de la que cada día me siento muy orgullosa.

A mi madre Juana Quispe Turpo, a mi padre Donato Colquehuanca y a mi hermana Dulce María Colquehuanca por permitirme ser parte de sus vidas, por su amor, comprensión, disciplina, confianza, lecciones de vida y por todo su apoyo incondicional a pesar de la distancia, ellos representan lo más valioso que tengo.

A la Consultora Servicios Geográficos y Medio Ambiente S.A.C. (GEMA), Por haberme brindado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, por haberme permitido participar y dirigir trabajos de investigación en hidrogeología, para seguir creciendo profesionalmente.

Expreso mi agradecimiento al Ingeniero Guillermo Manrique – Gerente General de GEMA, por haber confiado en mí profesionalismo desde el primer día que llegue a la Consultora, agradezco los consejos dados y por haberme brindado las facilidades de llevar a cabo el presente trabajo.

Finalmente quiero agradecer al Ingeniero Jorge Soto, por sus enseñanzas, su exigencia en cada curso brindado, y porque de ello aprendí que cuando asumes algo, las adversidades no deben tomarse como escusas, y de hecho es una enseñanza que he replicado en cada uno de mis proyectos, ya que cada uno es mejor que el otro y la exigencia a mí misma cada día es mayor, una vez más muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDIDE DE TABLAS	X
RESUMEN	xıı
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: GENERALIDADES	3
1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 ÁMBITO DEL ESTUDIO	3
1.2.1 Ubicación de la Zona de Estudio	3
1.2.2 Vías de Acceso	4
1.3 METODOLOGIA DEL ESTUDIO	4
1.3.1 Fase de planificación y recopilación de información	5
1.3.2 Fase de trabajo en campo	5
1.3.3 Fase de gabinete	5
CAPITULO II : MARCO GEOLÓGICO	7
2.1 ESTRATIGRAFÍA	7
2.1.1 Paleozoico	8
2.1.2 Mesozoico	8
2.1.3 Cenozoico	9
2.2 TECTÓNICA	12
2.2.1 Plegamientos	12
2.2.2 Fallamientos	13

CAI	PITULO III : MARCO GEOMORFOLÓGICO	14
3.1	MORFOGENESIS	14
3.2	UNIDADES FISIOGRÁFICAS	15
	3.2.1 Colinas	15
3.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS	17
3.4	ESTABILIDAD GEOMORFOLÓGICA	18
CAI	PITULO IV : PROSPECCIÓN GEOFÍSICA	20
4.1	PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA	20
4.2	METODOLOGÍA	21
	4.2.1 Método de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV)	21
	4.2.2 Configuración Schlumberger	23
	4.2.3 Curva de resistividad	24
	4.2.4 Equipo utilizado	24
	4.2.5 Registros SEV ejecutados en campo	28
4.3	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	29
	4.3.1 Interpretación Cualitativa	29
	4.3.2 Interpretación Cuantitativa	30
4.4	RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS EN LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA	32
	4.4.1 Resistividad de las Rocas	32
	4.4.2 Características eléctricas del acuífero	33
4.5	PERFILES GEOELÉCTRICOS	37
	4.5.1 Perfil Geoeléctrico A-A'	37
	4.5.2 Perfil Geoeléctrico B-B'	38
	4.5.3 Perfil Geoeléctrico C-C'	38
	4.5.4 Perfil Geoeléctrico D-D'	39
	4.5.5 Perfil Geoeléctrico E-E'	40
	4.5.6 Perfil Geoeléctrico F-F'	41
CAI	PITULO V : MARCO HIDROLÓGICO	43
5.1	HIDROGRAFÍA	43
5.2	PRECIPITACIONES	45
	5.2.1 Estaciones Pluviométricas	46
	5.2.2 Precipitaciones Mensuales y Anuales	46
	5.2.3 Época transicional de seca a húmeda: Diciembre	47
5.3	CARACTERIZACIÓN DE CAUDAL	48

	5.3.1 Registros de caudales - Información hidrométrica	48
	5.3.2 Caudales del Río Ucayali (Estación Requena)	52
5.4	ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	54
	5.4.1 Régimen Temporal de los Caudales de los Ríos	55
	5.4.2 Generación de Caudales Mensuales	56
	5.4.3 Caudales Máximos Diarios	57
5.5	INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	58
	5.5.1 Inventario de fuentes de agua subterránea	59
	5.5.2 Inventario de fuentes de agua superficial	59
CAF	PITULO VI: HIDROQUÍMICA	63
6.1	LA FÓRMULA DEL AGUA. ISÓTOPOS	64
6.2	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	65
6.3	PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	66
6.4	TIPOS DE AGUAS	70
	6.4.1 Química de aguas subterráneas	70
6.5	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	72
	6.5.1 Diagrama de Piper	72
6.6	COMPARACIÓN CON LAS NORMAS NACIONALES	74
	6.6.1 Estándares de Calidad Ambiental (ECA)	75
	6.6.2 Resultados de la comparación con los ECA	77
6.7	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	80
	6.7.1 Agua Superficial	80
	6.7.2 Agua Subterránea	80
CAF	PITULO VII : HIDRÁULICA SUBTERRÁNEA	81
7.1	PARÁMETROS HIDRÁULICOS	82
7.2	PARÁMETROS DE DAR ZARROUK	84
7.3	CORRELACIÓN DE PARÁMETROS GEOELÉCTRICOS E HIDRÁULICOS	88
	7.3.1 Relación entre la resistividad (ρ) y la conductividad hidráulica (k)	88
	7.3.2 Relación entre la resistencia transversal (TR) vs transmisividad del acuífero (T)	88
7.4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	92
CAF	PITULO VIII : HIDROGEOLOGÍA	93
8.1	GEOMETRÍA DEL RESERVORIO ACUÍFERO	93
	8.1.1 Formas y limites	93
8.2	UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS	94

8.3	IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	96
8.4	EL ACUÍFERO	97
8.5	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO	98
8.6	LA NAPA FREÁTICA	99
8.7	MORFOLOGÍA DE LA NAPA	101
8.8	FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO Y DIRECCIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO	102
8.9	ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA	104
8.1	0 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	106
	8.10.1 Perfil hidrogeológico (A-A')	106
	8.10.2 Perfil hidrogeológico (B-B')	107
	8.10.3 Perfil hidrogeológico (C-C')	108
	8.10.4 Perfil hidrogeológico (D-D')	109
	8.10.5 Perfil hidrogeológico (E-E')	109
	8.10.6 Perfil hidrogeológico (F-F')	109
8.1	1 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL 3D	116
		440
CAI	PITULO IX : ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	118
9.1	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA	118
	9.1.1 Métodos de evaluación	118
9.2	MÉTODOS PARAMÉTRICOS	119
	9.2.1 Método DRASTIC	120
	9.2.2 Análisis de resultados del método DRASTIC	123

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figúra 1.1 Ubicación satelital del área de estudio	4
Figura 3.1 Colinas bajas presentes en el área de estudio (CbI)	16
Figura 3.2 Colinas bajas fuertemente disectadas (Cbf) del área de estudio	16
Figura 4.1 Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales	21
Figura 4.2 Ejecución del Método SEV en campo	22
Figura 4.3 Curva bi-logaritmica de resistividad.	23
Figura 4.4 Arreglo Schlumberger	23
Figura 4.5 Efecto del aumento de la distancia MN en la resistividad anómala de dos cuerpos	24
S ₁ y S ₂	24
Figura 4.6 Equipo Ministing R1/IP, DC-Memory earth resistivity meter	25
Figura 4.7 Accesorios del Equipo	28
Figura 4.8 Interpretación cualitativa	30
Figura 4.9 Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales	32
Figura 4.10 Toma del registro SEV-04 en campo	35
Figura 5.1 Diagrama fluvial	45
Figura 5.2 Ubicación regional de las estaciones hidrométricas	50
(Ríos: Ucayali, Marañón y Amazonas)	50
Figura 5.3 Caudales mensuales (m³/s) de la Estación Requena	51
Figura 5.4 Estación Requena en el río Ucayali	51
Figura 5.5 Caudales medios mensuales del Río Ucayali - Estación Requena	53
Figura 5.6 Caudales medios anuales del Río Ucayali - Estación Requena	53
Figura 5.7 Caudales frecuentes de las quebradas presentes en la zona de estudio	58
Figura 5.8 Pozo ubicado en el Centro Poblado de Macuya.	59
Figura 5.9 Quebrada Shansho	60
Figura 5.10 Quebrada s/n 2	61
Figura 5.11 Quebrada s/n 1	61
Figura 5.12 Rio Macuya	62
Figura 6.1 Clasificación de las aguas en el diagrama de Piper	73
Figura 6.2 Diagrama de Piper y resultados de las estaciones de muestreo	74
Figura 7.1Parámetros de Dar zarrouk.	84
Figura 7.2 Resistencia transversal del área de estudio	85

Figura 7.3 Conductancia longitudinal del área de estudio	87
Figura 7.4 Grafico de resistividad v/s conductividad hidráulica.	88
Figura 7.5 Gráfico de resistencia transversal v/s transmisividad del acuífero	89
Figura 7.6 Transmisividad del Acuífero	90
Figura 8.1 Composición litológica que sobreyace a la unidad hidrogeológica 1 (UH-1)	97
Figura 8.2 Tipos de acuífero según su funcionamiento hidráulico.	98
Figura 8.3 Isoprofundidades al techo de la napa freática.	. 101
Figura 8.4 Superficies equipotenciales bajo una ladera y su perfil con red de flujo	. 103
Figura 8.5 Red de flujo subterraneo	. 103
Figura 8.6 Zonas de descarga de un acuiíero	. 104
Figura 8.7 Ubicación de zonas de recarga y descarga del acuífero.	. 105
Figura 8.8 Perfil esquemático de un modelo conceptual	. 106
Figura 8.9 Perfil Hidrogeológico (A-A´)	. 110
Figura 8.10 Perfil Hidrogeológico (B-B´)	. 111
Figura 8.11 Perfil Hidrogeológico (C-C´)	. 112
Figura 8.12 Perfil Hidrogeológico (D-D´)	. 113
Figura 8.13 Perfil Hidrogeológico (E-E´)	. 114
Figura 8.14 Perfil Hidrogeológico (F-F´)	. 115
Figura 8.15 Modelo Hidrogeológico 3D del área de estudio	. 117
Figura 9.1 Interrelación entre la densidad de los puntos de información, el número de datos p	or
punto y la escala de evaluación	. 119
Figura 9.2 Variables de evaluación del método DRASTIC	. 120
Figura 9.3 Grado de vulnerabilidad para el área de estudio	. 125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Columna estratigráfica regional del sector Macuya	11
Tabla 3.1 Unidades Fisiográficas	17
Tabla 3.2 Estabilidad geomorfológica del área de estudio	19
Tabla 4.1 Métodos Geoeléctricos	20
Tabla 4.2 Características del Equipo	25
Tabla 4.3 Distancia entre A-B y M-N para cada lectura	28
Tabla 4.4 Ubicación de puntos de evaluación de SEV	29
Tabla 4.5 Resultados del modelo de inversión	31
Tabla 4.6 Resistividades de diferentes tipos de suelo en ohm*m	32
Tabla 4.7 Correlación de resultados de resistividad	36
Tabla 5.1 Características de las estaciones meteorológicas analizadas	46
Tabla 5.2 Precipitación mensual y anual (Estación San Alejandro)	47
Tabla 5.3 Precipitación mensual y anual (Estación Tournavista)	47
Tabla 5.4 Características de la Estación hidrométrica Requena	49
Tabla 5.5 Caudales mensuales del Río Ucayali (m³/s) Estación Requena	52
Tabla 5.6 Características de las zonas de escurrimiento superficial del área de estudio	54
Tabla 5.7 Caudales medios anuales para el Río Macuya	55
Tabla 5.8 Caudales mensuales del Río Ucayali (m³/s) - Estación Requena: Período 1990-2006	55
Tabla 5.9 Matriz de variabilidad representativa - Estación Requena - Río Ucayali	56
Tabla 5.10 Caudales máximos mensuales (m³/s) - generados	57
Tabla 5.11 Caudales medios mensuales (m³/s) - generados	57
Tabla 5.12 Caudales mínimos mensuales (m³/s) - generados	57
Tabla 5.13 Caudales máximos diarios (m³/s) - generados	58
Tabla 5.14 Ubicación de fuentes de agua subterránea	59
Tabla 5.15 Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial	60
Tabla 5.16 Ubicación de los cuerpos de agua identificados	60
Tabla 6.1 Metodología de análisis	65
Tabla 6.2 Parámetros fisicoquímicos de las estaciones de muestreo hidroquímico	69
Tabla 6.3 Composición de las aguas subterráneas, según su litología	71
Tabla 6.4 Parámetros del Estándares de calidad ambiental para agua – Categoría 1:A2	75

Tabla 6.5 Parámetros del estándar de calidad ambiental para agua – Categoría 4	77
Tabla 6.6 Análisis de parámetros fisicoquímicos de calidad de agua superficial y subterránea	78
Tabla 6.7 Análisis de concentración de metales en agua superficial y subterránea	79
Tabla 7.1 Rangos de porosidad y conductividad hidráulica de rocas	82
Tabla 7.2 Valores estimados de la conductividad hidráulica (metros /día)	83
Tabla 7.3 Resultados de la correlación de parámetros geoeléctricos e hidráulicos del área de	
estudio	91
Tabla 8.1 Profundidad al techo y base del acuífero	94
Tabla 8.2 Características de las unidades hidrogeológicas	95
Tabla 8.3 Unidades hidrogeológicas	97
Tabla 8.4 Medidas de profundidad de la napa freática en los puntos de evaluación SEV	99
Tabla 9.1 Definición práctica de las clases de vulnerabilidad	. 118
Tabla 9.2 Parámetros de DRASTIC	. 121
Tabla 9.3 Valoraciones de parámetros para el método DRASTIC	. 121
Tabla 9.4 Factores de ponderación para el método DRASTIC.	. 123
Tabla 9.5 Grados de vulnerabilidad –Método DRASTIC.	. 123
Tabla 9.6 Resultados de índices de vulnerabilidad DRASTIC para los puntos evaluados	. 124

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como escenario la cabecera de la subcuenca de Macuya que forma parte de la cuenca principal del Pachitea, donde el objetivo es determinar las principales características hidrogeológicas de este sector, así como la vulnerabilidad del acuífero que subyace a la zona , mediante la ejecución e interpretación de la prospección geofísica aplicando el método indirecto de sondaje eléctrico vertical y el análisis de calidad de agua que se muestrearon en los principales cuerpos representativos que vierten al rio Macuya.

Para llevar a cabo este estudio, se ha dispuesto data de 20 registros de sondaje eléctrico vertical realizados en el sector de Macuya, 10 análisis de calidad de agua entre superficial y subterránea. La data corresponde al mes de octubre del 2014.

El área de estudio se encuentra sobre las formaciones geológicas del Chambira e Ipururo, las cuales están conformadas principalmente por bancos de arcillas intercaladas con areniscas, y una fisiografía ondulada donde las unidades predominantes son colinas bajas ligeramente disectadas (Cbl) y colinas bajas fuertemente disectadas (Cbf).

Hidrogeológicamente se determinaron tres unidades correspondientes a un acuitardo, acuífero libre semiconfinado y un acuicludo, los cuales están conformados por formaciones detríticas permeables en general no consolidados, la profundidad de la napa freática varía entre 2 y 30 metros de profundidad, esta variación tienen un comportamiento estacional, es decir, varían de acuerdo a la época del año, elevándose en los meses lluviosos, donde el acuífero aporta a las quebradas del rio Macuya debido a que el nivel freático en estos cuerpos de agua superficial es somero, mientras que en la época de menor precipitación las quebradas de la subcuenca recargan al acuífero discontinuo local, la dirección de flujo predominante es de noroeste a sureste, condicionado principalmente por el transporte del agua infiltrada desde las áreas colinosas y ligeramente onduladas.

El comportamiento del acuífero está relacionado con la geoforma del terreno y con las características litológicas de cada estrato donde el gradiente hidráulico del acuífero es mayor al noroeste del área de estudio, mientras que el gradiente hidráulico disminuye en la zona del centro poblado de Macuya, la misma que presenta un acuífero con características hidrogeológicas productivas.

Finalmente el análisis de vulnerabilidad de las aguas subterráneas indicó que el área de estudio presenta de bajo a moderado grado de vulnerabilidad, por lo que no habría mayores impactos ambientales al estrato acuífero por la capacidad de infiltración que presenta, sin embargo se deben de tomar medidas de protección adecuadas para evitar cualquier tipo de contaminación por derrame.

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es un recurso natural vital para el suministro económico y seguro de agua potable en el medio urbano y rural, y juega un papel fundamental (pero frecuentemente poco apreciado) en el bienestar del ser humano y de muchos ecosistemas acuáticos.

A escala mundial, los acuíferos (formaciones geológicas que contienen recursos hídricos utilizables) están experimentando una creciente amenaza de contaminación causada por la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y emprendimientos mineros.

Por ello existe una gran necesidad de llevar a cabo estudios hidrogeológicos que puedan determinar la vulnerabilidad de estos cuerpos y tomar acciones prácticas destinadas a proteger la calidad natural del agua subterránea (que por lo general es excelente), las cuales se pueden justificar sobre la base tanto de criterios amplios de sustentabilidad ambiental como de criterios más estrechos de beneficio económico.

El presente trabajo de investigación titulado "Estudio Hidrogeológico en la cabecera de la Subcuenca de Macuya, mediante el Método de Sondaje Electico Vertical y Análisis Hidrogeoquímico", muestra las condiciones hidrogeológicas y la vulnerabilidad de los recursos hídricos subterráneos del sector de Macuya, el cual fue realizado principalmente mediante la ejecución del método indirecto de sondaje eléctrico vertical y el análisis hidrogeoquímico e inventario de los cuerpos de agua superficial y subterráneos presentes en el área de estudio, los cuales fueron correlaciones e interpretados con la geología, geomorfología y sus principales características hidrológicas en toda la subcuenca de Macuya.

Actualmente sobre la cabecera de la subcuenca en estudio se encuentra situado el Centro Poblado de Macuya que utiliza y consume agua subterránea desde un pozo artesanal, y en el ámbito de su territorio se desarrollan diferentes actividades como: ganadería, agricultura e industria, que ha convertido en posibles agentes potenciales de contaminación

Ante esta situación, es importante y necesario realizar el presente trabajo de investigación que permitirá también determinar el grado de vulnerabilidad del acuífero presente en el sector de Macuya, ya que a menudo, en el pasado, los recursos hídricos subterráneos han sido, en efecto abandonados a su suerte. Con frecuencia, quienes dependen de estos recursos para el suministro de agua potable no han adoptado acción significativa alguna para asegurar la calidad natural del agua, ni han realizado esfuerzos adecuados para evaluar los peligros potenciales de contaminación.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.1.1 Objetivo General

Definir las características hidrogeológicas del acuífero presente en el sector de Macuya con fines ambientales y determinar la vulnerabilidad de estos cuerpos de agua subterránea cumpliendo los lineamientos que exige la autoridad respecto a los recursos hídricos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterización de las unidades geológicas y geomorfológicas.
- Determinar las características georesistivas del suelo y del acuífero.
- Determinar la geometría del acuífero de acuerdo a sus condiciones geoeléctricas.
- Realizar un inventario de todas las fuentes de agua superficial y subterránea.
- Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas y superficiales.
- Identificar las unidades hidrogeológicas.
- Determinar las características hidráulicas del acuífero.
- Realizar el análisis de la vulnerabilidad con el método de DRASTIC.

1.2 ÁMBITO DEL ESTUDIO

1.2.1 Ubicación de la Zona de Estudio

El sector de Macuya que corresponde a la zona de estudio se encuentra ubicado dentro de los distritos de Irazola y Tournavista en las provincias de Padre de Abad y Puerto Inca en la Región Ucayali y Huánuco. Geográficamente se encuentra ubicada en la región central de la amazonia peruana, entre las coordenadas 9°39′25″ latitud sur y los 73° 39′ 20.6″ longitud oeste, en la zona 18S (Datum WGS-84), con una altitud media de 240 metros respecto al nivel del mar.

1.2.2 Vías de Acceso

Para acceder al área de estudio existen dos tipos de vías aéreo y terrestre, la vía aérea es hasta Pucallpa, luego se debe tomar la carretera Federico Basadre hasta el Centro Poblado Von Humboldt (km 86), para luego tomar la carretera Fernando Belaunde Terry que pasa por el sector de Macuya en su km 13, y finalmente desplazarse mediante caminata hacia el lado oeste de la carretera en el que se encuentra emplazado el área de estudio.

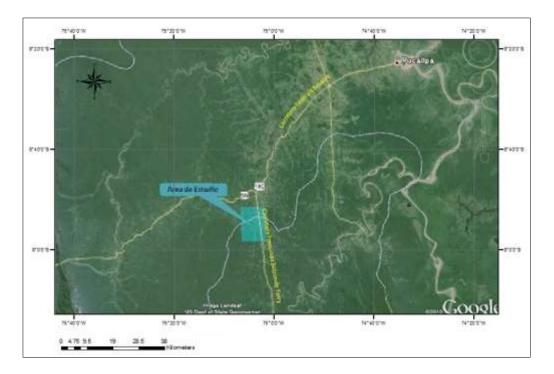


Figura 1.1.- Ubicación satelital del área de estudio.

1.3 METODOLOGIA DEL ESTUDIO

La metodología empleada en el presente estudio consistió en tres fases, en la primera se recopiló información bibliográfica de estudios realizados cerca del área de estudio, cartas geográficas y geológicas nacionales y boletines correspondientes a la zona de interés.

La segunda fase consistió en el ingreso a la zona de estudio para realizar la toma de veinte registros geoeléctricos de sondaje eléctrico vertical mediante la aplicación de prospección eléctrica, el cual es un método indirecto que determina los cambios verticales de las propiedades geoeléctricas del subsuelo, se realizó aforos a los cuerpos de agua superficial presentes en el área de estudio, así como la toma de muestra de agua superficial y subterránea dentro del sector de Macuya.

Finalmente la tercera fase cubrió las labores de análisis, síntesis, procesamiento e interpretación de la información recogida en las etapas anteriores.

1.3.1 Fase de planificación y recopilación de información

En esta fase se realizó la revisión de la información bibliográfica (cartas geográficas y geológicas nacionales, estudios aledaños, entre otros) y cartográfica del área de estudio para ubicar los puntos de sondaje eléctrico vertical y los puntos de calidad de agua a fin de realizar un óptimo levantamiento de información hidrogeológica in-situ, así como también la planificación del ingreso a campo.

1.3.2 Fase de trabajo en campo

Consistió en el ingreso a la zona de estudio a fin de evaluar y caracterizar las diferentes características hidrogeológicas, donde se realizó la toma de veinte (20) registros de sondaje eléctrico vertical (SEV) con disposición Schlumberger para investigar el subsuelo e identificar el nivel del agua subterránea, e indirectamente determinar parámetros hidráulicos, los mismos que fueron distribuidos sobre la cabecera de la subcuenca de Macuya. Asimismo se muestreo el agua subterránea del pozo ubicado en el Centro Poblado de Macuya y seis (06) puntos de muestreo de agua superficial en las quebradas afluentes al rio Macuya, realizando aforos para determinar sus principales características hidrológicas.

El ingreso al área de estudio se realizó del 30 de agosto al 10 de septiembre del 2014, el cual tuvo una duración de doce (12) días efectivos en campo.

1.3.3 Fase de gabinete

En esta etapa se realizó el análisis e interpretación de la información obtenida en el ingreso a campo correspondiente a los veinte (20) registros de sondaje eléctrico vertical (SEV), los seis (06) puntos de muestreo de agua superficial y un (01) punto de agua subterránea, así como también el análisis de toda la información bibliográfica recopilada.

Se realizó la comparación con los estándares de calidad ambiental (ECA) e interpretación de los informes de los análisis de agua superficial y subterránea analizados por el laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.

En esta etapa se utilizaron los Software de procesamiento e interpretación IPI2Win 3.0.1, EarthImager 2.0.5, Envi 4.8 y Microsoft Excel 2013, para la elaboración del modelamiento

conceptual 2D y 3D se utilizaron los Software Golden Surfer 10.0 y Google Earth 7.1.2.2041 asimismo para la elaboración de los perfiles geoeléctricos e hidrogeológicos se utilizó el Software de AutoCAD 2014 y finalmente para la elaboración de los mapas se utilizó el Software de ArGis 10.1.

CAPITULO II

MARCO GEOLÓGICO

Las formaciones geológicas constituyen la estructura básica del marco hidrogeológico, a través del cual fluye el agua subterránea desde la zona de infiltración hasta la de descarga. Este marco está formado por materiales con una permeabilidad relativamente alta (acuífero), limitada (acuitardos) y materiales prácticamente sin permeabilidad alguna (acuífugo). Dado que el agua (subterránea) siempre tiende a seguir el camino que ofrece la menor resistencia, la mayor parte del flujo tiene lugar a través de los acuíferos.

El área de estudio se localiza en la selva central del país, específicamente en la cabecera de la cuenca del río Macuya, la cual corresponde a una cuenca pericratónica relativamente inestable y proclive a subsidencias o hundimientos rápidos en escala geológica. Territorialmente comprende dos grandes unidades morfoestructurales, la denominada cordillera subandina (representada por la cordillera del Sira) y la llanura amazónica.

2.1 ESTRATIGRAFÍA

Desde el punto de vista estratigráfico, la zona de estudio se encuentra emplazado en el sector noroccidental de la denominada cuenca Ucayali, que es una cuenca sedimentaria de filiación petrolífera de más de 5000 metros de espesor y que fue conformada durante el cretáceo. Las rocas que afloran en esta cuenca son de origen sedimentario y corresponden a periodos que van desde el paleozoico (devoniano) al cuaternario reciente (holoceno). Predominando afloramientos del Mioceno y del Plioceno (formación Chambira e Ipururo, respectivamente), donde algunas etapas (hiatos estratigráficos) están representadas por discordancias angulares y de erosión, que se desarrollan entre las unidades formacionales.

A continuación, se describen los aspectos litológicos, texturales y estructurales más resaltantes de cada una de las formaciones emplazadas en el área de estudio, siguiendo el orden de posición del más antiguo al más reciente:

2.1.1 Paleozoico

Vienen a ser las rocas más antiguas que se exponen a los alrededores del área de estudio y como tal han sufrido las sucesivas fases tectónicas que afectaron el territorio cordillerano andino; resultando de esta manera, afloramientos de dificultosa percepción debido a la disposición desordenada de sus sedimentos, sus rocas se extienden con amplitud en la cordillera el Sira, correspondiente a la formación Copacabana.

2.1.2 Mesozoico

En el área de estudio, el mesozoico se halla constituido por depósitos sedimentarios que pertenecen al Cretáceo, cuya litología dominante consiste en areniscas, lutitas y calizas, los cuales son sedimentos que lateralmente pueden aumentar o disminuir de grosor considerablemente. A continuación, se describe el grupo y las formaciones geológicas identificadas:

Formación Chambira (PN-ch)

Esta formación presenta en su porción inferior lodolitas calcáreas marrón rojizas, que se intercalan con capas delgadas de areniscas pardas; en su porción media las areniscas son de grano fino y en estratos gruesos se alternan con arcillitas rojas, y en su porción superior ocurre una alternancia de arcillitas rojizas con areniscas pardas, muy friables que muestran estratificación cruzada. Su ambiente de deposición es de tipo continental, corresponde a una llanura de inundación fluvial baja con abundante oxidación. Morfológicamente, estos sedimentos desarrollan un relieve de colinas bajas, de cimas cónicas a aristadas.

Esta formación sobreyace transicionalmente a los sedimentos más antiguos e infrayace en forma similar a las capas del Ipururo con discordancia erosional a angular hacia los sedimentos cuaternarios. Por estas relaciones estratigráficas se le asigna una edad correspondiente al Paleógeno superior-Neógeno inferior (Oligoceno-Mioceno). Su espesor es de 1000 metros aproximadamente.

Sus afloramientos son generalmente bastante metereorizados, se extienden ampliamente en la margen izquierda del río Pachitea y en ambas márgenes del río Macuya.

Formación Ipururo (N-ip)

Se halla constituida por una potente secuencia de areniscas y arcillitas, las areniscas son de colores grises a amarillentas, de grano medio a grueso y poco coherentes; sin embargo, algunas veces presentan cemento calcáreo que le da cierta compactación. Estas areniscas ocurren en capas gruesas que frecuentemente presentan estratificación cruzada y ocasionalmente contienen lignito piritizado y glauconita, en tanto, las arcillitas a veces calcáreas son de colores rojizos, blanquecinos, brunáceos, grises y abigarradas; se hallan depositadas en capas gruesas a finamente laminadas.

En su porción superior, la secuencia presenta intercalaciones de lutitas grises, lutitastobáceas y paquetes de conglomerados polimícticos de clastos medios a pequeños con un visible carácter estratificado, los que se caracterizan por su fuerte coherencia, sus caracteres litológicos indican que se han depositado en un ambiente continental, fluvial de relleno de cauce o de llanura de inundación, con esporádicas facies lacustres.

La formación sobreyace en forma transicional a las capas del Chambira e infrayace con discordancia angular a erosional a las acumulaciones cuaternarias. Por sus relaciones estratigráficas se le considera depositado en el Neógeno superior (Plioceno); se estima que su espesor en la región es superior a los 800 m.

Sus afloramientos metereorizados y de baja compactación se extienden ampliamente en el sector occidental del área evaluada.

2.1.3 Cenozoico

Dentro del cenozoico se han reconocido dos clases de depósitos que a continuación se explican:

Depósitos palustres (Qr-p)

Consisten en depósitos de pantanos o lacustres que ocurren en ambas márgenes del río Ucayali en el sector nororiental del área evaluada, litológicamente consisten de limos y lodolitas con bajo contenido de oxígeno, así como lodolitas orgánicas y turba. El color de estos materiales generalmente es de gris oscuro a negro, su espesor se estima entre 3 y 5 metros.

Depósitos aluviales recientes (Qr-a)

Constituyen acumulaciones aluviales holocénicas (recientes) depositadas por los ríos y quebradas que drenan en la región. Litológicamente, se hallan constituidos por materiales sueltos de gravas, arenas, limos, arcillas que conforman el lecho actual de los ríos, las planicies de inundación, orillares y las terrazas bajas inundables.

Conforman un relieve llano, su espesor se estima entre 5 y 10 metros. La configuración de estos depósitos es generalmente alargada y de ancho variable. Los depósitos se caracterizan por no presentar desarrollo genético de suelos.

En la siguiente tabla se presenta la columna estratigráfica regional, donde se resalta las formaciones emplazadas en el área de estudio.

Era	Sistema	Serie	Unidad estratigráfica	Potencia (m)	Descripción	
	Cuaternari	ernari Holoceno	Depósitos aluviales recientes	5 - 10	Acumulaciones de gravas, arenas, limos y arcillas, sueltas.	
	0	(reciente)	Depósitos palustres	3 - 5	Acumulaciones de limos orgánicos y lodolitas, gris oscuras con bajo contenido de oxígeno, y turba.	
Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Formación Ipururo	800	Secuencia de areniscas y arcillitas, en capas gruesas, con intercalaciones de lutitas, tobas y conglomerados.	
oua		Mioceno	Formación Chambira	1000	Secuencia de lodolitas calcáreas, intercaladas con areniscas de grano fino, en capas	
ŭ			Tormacion Chambira	1000	gruesas.	
	Paleógeno	Oligoceno	Formación Pozo	150	Areniscas de grano fino algo tobáceas, muy coherentes, con intercalaciones de lutitas grises muy fisibles.	
		Eoceno		Formación Yahuarango	750	Areniscas rojizas, de grano medio a fino, alternadas con limolitas, arcillitas rojizas y
		Paleoceno	Torridation randarango	750	areniscas.	
	Cretáceo	Superior Cretáceo	Formación Casa Blanca	150	Areniscas cuarzosas blancas, masivas de grano medio a fino, con intercalaciones de limolitas negras en su base.	
			Formación Cachiyacu- Huchpayacu	200	Lutitas negras y rojas, arcillitas margosas y limolitas; con intercalaciones de limolitas igualmente rojas.	
Mesozoico			Formación Vivian	150	Areniscas cuarzosas blancas a cremas de grano fino a grueso, sacaroideas, con estratificación cruzada.	
Me			Formación Chonta	700	Lutitas calcáreas y calizas con algunas intercalaciones de margas, areniscas y limolitas.	
		Inferior	Grupo Oriente	1000	Areniscas cuarzosas blancas a amarillentas, sacaroideas, de grano fino a grueso, con intercalaciones de lutitas y calizas	
Paleozoico	Permiano	Inferior	Grupo Copacabana	700	Calizas fosilíferas gris claras a gris oscuras, que se intercalan con paquetes gruesos de margas arenosas, areniscas y lutitas.	

Tabla 2.1.- Columna estratigráfica regional del sector Macuya (Boletín Geológico Serie A-98)

Bach. Jannet Vaneza Colquehuanca Quispe

2.2 TECTÓNICA

En el área de estudio se han reconocido diferentes eventos geotectónicos superpuestos, los que han actuado desde el Paleozoico hasta el Pleistoceno. Dichos eventos dieron lugar a levantamientos, plegamientos, fallamientos y consecuentemente hiatos y discordancias angulares en el paquete sedimentario. Tales eventos son agrupados en dos etapas tectónicas mayores, conocidas como Hercínica y Andina, los cuales

La etapa Tectónica andina, es característica del ámbito en el que se emplaza el área de estudio, la cual se inició en el mesozoico temprano y se prolongó hasta el cuaternario. Esta tectónica es de tipo polifásica y dio lugar a las principales características morfotectónicas del territorio andino. Son tres las fases reconocidas: inca, quechua y pliocuaternaria, sin embargo la fase quechua y pliocuaternaria son los eventos que se emplazaron sobre el área de estudio.

La fase Quechua es de tipo compresivo, lo que dio lugar al plegamiento amplio de las formaciones Chambira e Ipururo y fallamientos longitudinales e inversos. La ocurrencia de esta etapa es considerada en tiempos Neogénicos (Plioceno tardío).

La fase Pliocuaternaria constituye la última etapa de deformación de la tectónica Andina, se distiende con algunos periodos compresivos que dieron lugar a deformaciones, tales como ondulaciones y movimientos verticales.

Actualmente, la región en la que se emplaza el área de estudio se halla en un proceso de lento levantamiento y deformación estructural de características epirogénicas, lo que se manifiesta por la sismicidad alineada a los principales sobrescurrimientos de la faja subandina.

Como resultado de lo anterior, el área de estudio presenta las siguientes estructuras:

2.2.1 Plegamientos

Anticlinal de San Alejandro

Es una estructura plegada de carácter regional, ligeramente asimétrica, con un eje casi recto y de rumbo esencialmente N-S que se inflexiona hacia el NO en su tramo septentrional. Se desarrolla en forma casi paralela al río San Alejandro, entre capas de la formación Chambira, las cuales presentan buzamientos suaves. En algunos

sectores se encuentra afectada por fallas transversales que a veces cortan su plano axial. Su recorrido es de aproximadamente 120 km.

o Sinclinal San Alejandro

Similarmente al caso anterior, es una estructura de carácter regional, pero de recorrido mucho menor. Se desarrolla entre capas neógenas de la formación Ipururo, presentando un eje que se ubica al oeste del anticlinal San Alejandro donde se observa un rumbo fluctuante, pero cuya dirección general es N-S. En su tramo meridional presenta, por un buen trecho, un rumbo NE-SO.

2.2.2 Fallamientos

o Falla Sacramento

Es una falla regional de tipo inverso, con un gran recorrido (120 km) y que presenta una dirección dominante SSE-NNO. Afecta a la formación Chambira del Mioceno, pone sus unidades litológicas sobre la formación Ipururo del Plioceno. Esta falla trunca lateralmente por el este el desarrollo del anticlinal de San Alejandro.

o Falla S/N

Viene a ser una falla asociada a la anterior, pero con recorrido NO-SE y de menor extensión; su traza se desplaza hacia el oeste de dicha estructura. Afecta similarmente a las formaciones Chambira e Ipururo, y sobrepone las capas más antiguas sobre las más modernas. En su tramo norte su recorrido se vuelve paralelo a dicha falla.

Sistemas de fallas menores

Consisten en pequeñas fallas inversas, generalmente subverticales, con rumbos dominantes NO-SE y NE-SO, que afectan principalmente a las capas del Ipururo y Chambira; ocurren en diversos lugares del área de estudio.

CAPITULO III

MARCO GEOMORFOLÓGICO

En las ciencias de la tierra ha sido reconocida la dependencia de la geomorfología en la interacción de la geología, el clima y el movimiento del agua sobre la tierra. Esta interacción es de gran complejidad y prácticamente imposible de ser concretada en modelos determinísticos, y se debe tomar como un proceso de comportamiento mixto con una fuerte componente estocástica, ya que las características físicas de una cuenca forman un conjunto que influye profundamente en el comportamiento hidrológico de la zona de estudio.

Así pues el área de estudio involucra ambientes fisiográficos del llano amazónico y de la faja subandina, donde se ha analizado los tres campos principales de la disciplina geomorfológica: *morfogénesis*, que trata el origen y desarrollo de las diversas formas de tierra que se exponen en la región donde se emplaza el área de estudio; *fisiografía*, que detalla los caracteres morfológicos más importantes y *Morfodinámica* que describe las acciones erosivas de mayor impacto y su extensión.

Esta caracterización geomorfológica se ha basado en la fotointerpretación de imágenes satelitales de alta resolución Landsat 5 TM del año 2011, la misma que se acompaña de un mapa geomorfológico, que presenta las unidades fisiográficas y la ocurrencia de acciones erosivas actuales.

3.1 MORFOGENESIS

Presenta cierta complejidad, pues en esta región dos sectores se oponen en su comportamiento morfotectónico, las denominadas "Cordillera Subandina" y el "Llano Amazónico"; así, mientras la región montañosa subandina que se desarrolla al oeste (representada por la Cordillera Azul) pasaba durante el meso-cenozoico por etapas de plegamiento, hundimiento y levantamiento, el llano amazónico que se extiende hacia el este, sufría etapas de hundimientos por epirogénesis o por el peso de los materiales arrancados a los territorios elevados.

En la etapa actual (holoceno), se estarían produciendo ligeros levantamientos epirogénicos en la región, que se manifiesta en el territorio depresionado amazónico, por el encajamiento de los ríos y la elevación de sus terrazas aluviales.

Se debe señalar además, que en los últimos años la actividad antrópica juega un papel sustantivo en la erosión y morfodinámica del área, ya que la deforestación creciente es principalmente producto de la actividad agraria y en menor medida la actividad ganadera, que se instalan en laderas de fuerte pendiente, favoreciendo a la erosión y al transporte de sedimentos por las aguas de escorrentía, en un medio sumamente lluvioso.

3.2 UNIDADES FISIOGRÁFICAS

Cabe destacar que los caracteres morfológicos esenciales del área de estudio han sido determinados por eventos geológicos y climáticos, acontecidos entre el Neógeno superior, así como por los agentes erosivos que actúan a través del tiempo. Las unidades reconocidas, son las siguientes:

3.2.1 Colinas

Las colinas que se presentan en el área de estudio se caracterizan por conformar relieves ondulados a disectados de 15 a 50% de pendiente; con alturas sobre su nivel de base de varias decenas de metros. Se caracterizan por ser formas desarrolladas, tanto por erosión pluvial como por acción tectónica. En el llano amazónico se encuentran constituidas por arcillitas y areniscas neógenas; en tanto que en las faldas de la cordillera El Sira se encuentran conformadas por rocas paleógenas y cretácicas.

a) Colinas bajas ligeramente disectada (Cbl)

Comprenden elevaciones de terreno de cimas, mayormente cónicas, con pendientes predominantes del orden de 15 a 25% y alturas comprendidas entre 20 m y 80 m sobre su nivel de base local. Es la unidad geomórfica dominante del área de estudio.

Los sedimentos sobre los que se han desarrollado están compuestos por arcillitas, areniscas y limolitas en capas plegadas, correspondientes principalmente a las formaciones Chambira e Ipururo del Paleógeno-Neógeno.



Figura 3.1.- Colinas bajas presentes en el área de estudio (Cbl), (Foto: GEMA).

Constituyen zonas de mediana estabilidad, salvo sectores localizados. En condiciones naturales, el proceso erosivo dominante es el escurrimiento difuso, el cual se halla amortiguado por las raíces y hojarasca.

b) Colinas bajas fuertemente disectadas (Cbf)

Similarmente a la unidad anterior, comprenden relieves de cimas cónicas o aristadas, desarrolladas en rocas terciarias pero con un mayor grado de disección, originado por acciones erosivas ocurridas en el pasado y que aún continúan actuando con las actuales precipitaciones pluviales. Sus pendientes van de 25 a 50%, aunque existen frecuentes sectores abruptos y escarpados especialmente en las zonas más disectadas. Sus alturas respecto al nivel de base local se encuentran entre 20 y 80 metros.



Figura 3.2.- Colinas bajas fuertemente disectadas (Cbf) del área de estudio (Foto: GEMA).

Litológicamente, estos relieves se encuentran desarrollados sobre los paquetes blandos, poco coherentes, de areniscas y arcillitas que integran las formaciones Chambira e Ipururo, distribuyéndose en diversos sectores del área, pero particularmente en la zona central.

Son áreas afectadas por escurrimiento difuso, de mayor intensidad que en el caso anterior, por lo que el peligro de erosión potencial es relativamente más alto en caso de producirse una deforestación masiva.

A continuación se presenta un resumen de las unidades fisiográficas del área de estudio:

Clases morfológicas	Unidades fisiográficas	Símbolo	Pendiente (%)	Altura sobre nivel de base (m)
Colinas	Colinas bajas ligeramente disectadas	Cbl	15-25	20-80
Collitas	Colinas bajas fuertemente disectadas	Cbf	25-50	20-80

Tabla 3.1.- Unidades Fisiográficas.

3.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

En el presente acápite se analiza los procesos erosivos más importantes que modelan actualmente el relieve del área en estudio. En tal sentido, la fisiografía está clasificada por topografía colinosa, y sobre ésta se definen comportamientos morfodinámicos donde la erosión por surcos y cárcavas producen impactos considerables en los territorios de fuerte pendiente e intervenidos por el hombre, seguido de la erosión difusa laminar cuyos impactos también son significativos.

El territorio restante, donde son mayoritarias las colinas cubiertas por vegetación, presenta comportamientos morfodinámicos de menor magnitud, sin embargo el potencial erosivo de estos relieves es elevado de producirse actividades antrópicas que impliquen la tala extendida del bosque. Entre los procesos erosivos que se han identificado, se tienen los siguientes:

a) Erosión en surcos y cárcavas

Son flujos hídricos lineales producto de una rápida y a veces simultánea concentración del escurrimiento difuso a lo largo de ejes lineales a favor de la pendiente. El incisionamiento puede ser superficial, en cuyo caso son conocidos como "surcos", o profundos, siendo conocido en este caso como cárcavas. Son formas erosivas que se desarrollan durante las

Iluvias y actúan intermitentemente incisionando su fondo, hallándose su desarrollo facilitado por la baja coherencia de los suelos pero sobre todo por actividades de deforestación. Estos procesos por lo general progresan en forma remontante pendiente arriba, siendo controlado en forma natural por la cobertura boscosa.

El progreso de la escorrentía en surcos hacia escorrentía concentrada en cárcavas, es paulatino e imperceptible. Estas acciones erosivas, ocurren con cierta frecuencia en los taludes ribereños de las terrazas aluviales altas y medias, así como en las vertientes colinosas y montañosas de fuerte pendiente.

b) Escurrimiento Difuso o Laminar

Es el recorrido generalizado en todo el terreno por parte de hilos o láminas de agua provenientes de la lluvia, sus efectos erosivos son mínimos en terrenos llanos a ondulados pero significativos al escurrir por vertientes inclinadas de fuerte pendiente, convirtiéndose en un eficaz agente erosivo en áreas deforestadas pues en su acción de lavado evacúan rápidamente las partículas meteorizadas del suelo, dando lugar a un empobrecimiento de él y en última instancia, afloramiento de las masas rocosas.

En el área estos procesos tienen alta significancia, debido a la intensa actividad colonizadora agrícola y ganadera, que ha deforestado no sólo terrenos llanos sino amplias zonas colinosas sin considerar su vocación de uso. Este fenómeno se traduce en una mayor carga de sedimentos en los ríos y por lo tanto en un incremento de su poder erosivo aguas abajo.

3.4 ESTABILIDAD GEOMORFOLÓGICA

El grado de estabilidad geomorfológica de un territorio está determinado por la ocurrencia de fenómenos naturales que amenazan el medio.

Es conocida la fragilidad ecológica que impera en la Amazonía, por lo que se debe tener en cuenta a fin de no acelerar sensiblemente los procesos geomorfológicos, que podrían agravar la situación actual del ecosistema amazónico.

Los diversos procesos erosivos naturales que afectan al medio y sus grados de intensidad están condicionados por las características geológico-geomorfológicas del área de estudio. En este sentido, las rocas o sedimentos de litología deleznables son más susceptibles al

desarrollo de procesos erosivos, así como los contrastes fisiográficos y las altas precipitaciones pluviales.

El área de estudio se emplaza sobre una zona de estabilidad de grado "ligeramente inestable" donde el tipo de proceso asociado es de escurrimiento difuso y laminar, teniendo en consideración los elementos que intervienen en el modelado de la superficie terrestre, y que actúan en la zona.

Categoría	Superficie geomorfológica	Símbolo	Tipos de procesos
Ligeramente inestables	Colinas bajas ligera a moderadamente disectadas	Cbl	Escurrimiento difuso Escurrimiento laminar

Tabla 3.2.- Estabilidad geomorfológica del área de estudio.

CAPITULO IV

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

4.1 PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

Los diferentes métodos de prospección geofísica determinan de forma indirecta las características del subsuelo, según el objetivo que este en investigación, dentro de los métodos de prospección está la prospección eléctrica donde su principio consiste en interpretar los distintos materiales del subsuelo, a partir de las variaciones de la resistividad al paso de la corriente eléctrica y según la corriente sea generada y aplicada al suelo o provenga de fuentes existentes, habrá dos categorías de métodos: los de corrientes artificiales y los de corrientes naturales.

A su vez, según el tipo de corriente que circule por el suelo, los métodos se subdividen en corriente continua y corriente alterna, agrupándolos como se muestra en la siguiente tabla:

MÉTODOS GEOELÉCTRICOS			
Corrientes	Naturales	Artificiales	
Continua	Potencial Espontáneo	Equipotenciales, Resistividad (SEV)	
Alterna	Corrientes Telúricas Magnetotelúrica AFMAG	Inclinación, VLF, GPR	

Tabla 4.1.- Métodos Geoeléctricos (Fuente: Applied Hidrogeophysics, Harry Vereecken.2006).

Las corrientes artificiales son provistas por generadores tipo baterías o por pequeños motores a combustión, que convierten la rotación en una corriente continua o alterna. Las corrientes naturales continuas tienen su origen en el fenómeno químico de Oxidación-Reducción y las alternas en la oscilación del campo magnético de la Tierra. Si bien hubo experiencias de mediciones en el año 1830, puede considerarse como el inicio de las exploraciones geoeléctricas recién en 1930 por parte del francés Schlumberger y el norte-americano Wenner. Desde esa fecha han venido mejorándose las técnicas y el instrumental, hasta lograrse una sólida base teórica que permitió desarrollar sofisticados

programas de computadoras para interpretar los resultados. El método geoeléctrico es probablemente el más utilizado para investigaciones a poca profundidad y muy especialmente para la búsqueda de napas freáticas o reservorios de agua.

4.2 METODOLOGÍA

Consistió en la ejecución del método de sondaje eléctrico vertical dentro del área de estudio, a fin de evaluar y caracterizar las diferentes características hidrogeológicas, donde se realizó la toma de veinte (20) registros de sondaje eléctrico vertical (SEV) con arreglo Schlumberger para investigar el subsuelo e identificar el nivel freático, e indirectamente determinar parámetros hidráulicos , los mismos que fueron distribuidos sobre el área de interés, en donde se tomaron 17 lecturas en cada punto SEV de evaluación, con una distancia promedio de tendido correspondiente a 500 metros y en zonas donde la topografía era muy accidentada se realizó un tendido de 300 metros.

4.2.1 Método de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV)

Este método consiste en inducir al subsuelo una determinada intensidad de corriente en mA a través de dos electrodos A y B, a su vez mediante dos electrodos no polarizables se mide el potencial inducido en mV. La profundidad de investigación está en función del espaciamiento de los electrodos A y B de corriente. Los datos de resistividad aparente obtenidos en cada sondeo eléctrico vertical se representan por medio de una curva en función de las distancias entre electrodos AB/2.

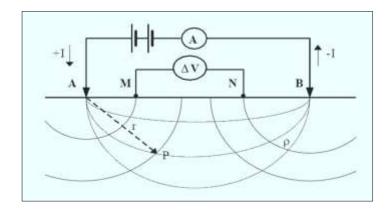


Figura 4.1.- Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales.

Dentro del terreno la corriente fluye tanto verticalmente como horizontalmente. Si el terreno presenta una resistividad uniforme, se desarrollaran superficies equipotenciales que son semiesféricas concéntricas. En la zona situada en el centro de AB, los equipotenciales son prácticamente rectas perpendiculares a AB.

La profundidad de penetración de la corriente eléctrica depende de la separación de los electrodos inyectores AB. Si la distancia entre los electrodos AB aumenta, la corriente circula a mayor profundidad pero su densidad disminuye. Para un medio isótropo y homogéneo, el 50% de la corriente circula por encima de la profundidad AB/2 y el 70.6% por encima de una profundidad AB (Orellana, 1982). Sin embargo, no es posible fijar una profundidad límite por debajo de la cual el subsuelo no influye en el SEV, ya que la densidad de corriente disminuye de modo suave y gradual, sin anularse nunca. Podría pensarse que la profundidad es proporcional a AB. Sin embargo esto no es cierto en general puesto que lo dicho sólo es válido para un subsuelo homogéneo.

Cualquier desviación de la resistividad, podría causar cambios en el patrón de flujo de corriente. El volumen a través del cual la corriente circula es proporcional a la distancia entre los electrodos.

Normalmente entre 3 y 5 capas pueden ser detectadas con esta técnica, que generalmente es efectivo para estudios de exploraciones de aguas subterráneas, utilizando la configuración Schlumberger, el cual es unos de los arreglos más usados a nivel mundial.



Figura 4.2.- Ejecución del Método SEV en campo.

Con la información obtenida en los registros geoeléctricos, se calcula la resistividad aparente, la cual es graficada versus la distancia interelectródica media (AB/2), en papel Log-Log; generándose una curva similar a la siguiente figura.

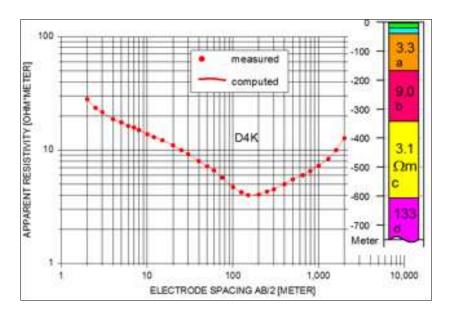


Figura 4.3.- Curva bi-logaritmica de resistividad.

4.2.2 Configuración Schlumberger

Es un dispositivo simétrico, donde la distancia que separa a AB debe ser mayor o igual que 5 veces MN. A y B son electrodos (barras de acero) de corriente por donde se envía corriente eléctrica al subsuelo y M-N son electrodos de potencial natural con los cuales se mide la diferencia de potencial obteniendo la resistividad aparente del suelo en sus diferentes capas, mientras más sea la distancia entre A-B se obtendrá más profundidad de investigación.

La representación de un sondeo muestra en ordenadas la resistividad aparente (pa) en Ohm-m y en abscisas la distancia AB/2 (m). En este arreglo el efecto de las heterogeneidades irrelevantes es menor pues sólo se mueven el par de electrodos inyectores A y B.

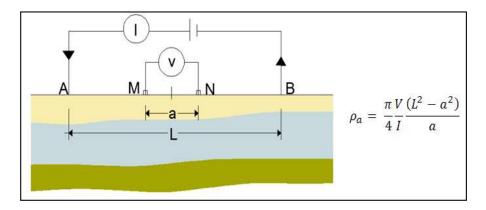


Figura 4.4.- Arreglo Schlumberger (Fuente: F. Javier Sánchez San Román. Geología Universidad Salamanca.1995).

4.2.3 Curva de resistividad

En una curva de resistividad aparente se produce una discontinuidad cada vez que un electrodo pasa sobre un cambio lateral de resistividad, por lo que resulta que cuanto mayor sea el número de electrodos movidos más ancha y complicada se hace la anomalía en la curva de resistividad aparente, lo cual hace más difícil la interpretación. Por esta razón se recomienda la calicata Schlumberger con los electrodos A y B fijos o la dipolar con los dipolos bien separados (equivalente a mover solo dos electrodos).

La diferencia de potencial VMN representa la integral del gradiente de potencial entre los electrodos M y N. Por tanto, cuanto más separados estén los electrodos M y N tanto más suavizada será la curva de la resistividad aparente, lo que provocará que objetos pequeños y cercanos se confundan en uno solo. Cuanto más pequeña sea la distancia MN se tiene mayor resolución y amplitud de cambio de resistividad aparente debido a un objeto (Figura 4.5), por lo que la calicata Schlumberger tiene mayor resolución que la de Wenner.

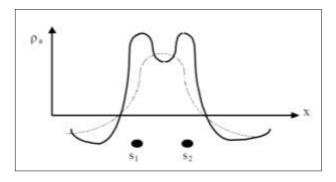


Figura 4.5.- Efecto del aumento de la distancia MN en la resistividad anómala de dos cuerpos S_1 y S_2 .

La **figura 4.5** muestra el efecto del aumento de la distancia MN en la resistividad anómala de dos cuerpos cuando la distancia de MN e pequeña (línea continua) y cuando MN es grande (línea a trazos).

4.2.4 Equipo utilizado

Se utilizó un equipo resistivímetro automático denominado MiniSting R1/IP, DC-Memory Earth Resistivity Meter - Modelo 289 de marca AGI ADVANCED de fabricación americana.

El MiniSting se puede utilizar de modo manual o en el sistema automático Swift de electrodo o con cajas de Conmutador (conmutando 28, 56, 84 o 98 electrodos) y electrodos

pasivos o cables de electrodo down-hole. Además puede realizar estudios automáticos con cualquier disposición de electrodos que pueden ser controlados por un ordenador.

Los datos registrados se guardan en la memoria interna y cuando convenga se descargan a un ordenador para procesar más tarde.

El MiniSting tiene una batería interna recargable, que almacena energía suficiente para el registro de tres puntos SEV manuales.



Figura 4.6. - Equipo Ministing R1/IP, DC-Memory earth resistivity meter.

a) Características Técnicas

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Modos de Medidas	Resistividad aparente, resistencia, voltaje (PS), polarización inducida (PI), voltaje de batería
Rango de medidas	400 kohms a 0.1 milliohms (resistencia) 0-500 V voltaje de cambio automático a escala completa.
Resolución de medida	Max 30 nV, depende del nivel de voltaje
Resolución de Monitor	4 dígitos en anotación de ingeniería.
Corriente de salida	1-2-5-10-20-50-100-200-500 mA.
Voltaje de salida	El usuario puede cambiar entre limite de voltaje bajo o alto para el transmisor (límite de voltaje 800 Vp-p, ó 320 Vp-p). El voltaje real del electrodo depende de la corriente transmitida y de la resistividad del subsuelo.
Cambio de la ganancia de entrada	Automático, siempre utiliza rango totalmente dinámico de receptor.
Impedancia de entrada	>20 Mohms
Voltaje de entrada	Max 500 V
Compensación de PS	Cancelación automática de voltajes de PS durante la medida de resistividad. PS constante y variando linealmente cancela completamente.
Tipo de medidas de IP	Cargabilidad dominio tiempo (M), medidas en seis ventanas de

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
	tiempo y almacenado en memoria
Transmisión de corriente de IP	ON+, OFF, ON-, OFF
Tiempo de ciclos de PI	1 s, 2 s, 4 s y 8 s
Ciclos de Medida	Promedio función de la medida mostrada después de cada ciclo. El ciclo automático se para cuándo las lecturas de errores caen por debajo del límite del usuario o se terminan los ciclos maximos definidos del usuario.
Ciclos de Tiempo	Tiempo básicos de medida es 0.4, 0.8, 1.2, 3.6, 7.2 ó 14.4 s según es elegido por el usuario vía teclado. Cambio automático y conmutación añaden alrededor de 1.4 s
Proceso de señal	Obtención continua de promedias después de cada ciclo completo. Los errores de ruido se calculan y demuestran como porcentaje de lectura. La lectura se demuestra como resistencia (dV/I) y resistividad aparente (ohmm o ohmft). La resistividad se calcula utilizando las distancias de electrodos introducidas por el usuario.
Supresión de ruido	Mejor que 100 dB en Hz f>20 Hz Mejor que 120 dB en las frecuencias de líneas eléctricas (16 2/3, 20, 50 & 60 Hz)
Exactitud Total	Mejor que el 1% de lectura en la mayoría de los casos (las medidas del laboratorio). La exactitud de la medida en el campo depende del ruido del terreno y de la resistividad. El instrumento calculará y demostrará la estimación actual de la exactitud de la medida.
Calibración del sistema	La calibración se hace digitalmente por el microprocesador basado en valores de corrección almacenados en la memoria.
Configuración Apoyada	Resistencia, Schlumberger, Wenner, dipolo-dipolo, polo-dipolo, polo-polo, acimutal, mise-a-la-masse, PS (absoluto) and PS (gradiente).
Almacenamiento de datos	El promedio de lectura de resolución completa y el error son almacenados junto con las coordenadas introducidas por el usuario y hora del día para cada medida. El almacenamiento se realiza automáticamente.
Capacidad de Memoria	En la memoria interna se puede almacenar más de 3000 medidas.
Transmisión de Datos	El canal RS-232C disponible para descargar los datos del instrumento a un ordenador de tipo Windows en el comando de usuario.
Multé-electrodos automático	El SuperSting está diseñado para hacer estudios de arreglos dipolo- dipolo completamente automáticos con el sistema Modo-Doble Automático Swift (patente 6,404,203). El MiniSting/Swift puede utilizar cualquier otra disposición de electrodo (Schlumberger, Wenner etc.) usando archivos especiales de comandos programados por el usuario. Estos archivos son creados en el ordenador tipo MS DOS y descargados en la memoria RAM del MiniSting RAM y más tarde recuperadas y usadas en el campo. Por lo tanto no hay necesidad de un ordenador frágil en el campo.
Controles del usuario	20 teclas táctiles, teclado a prueba de inclemencias con entradas numéricas y teclas de función. Interruptor On/Off Botón de medida, integrado dentro del teclado principal. Interruptor de luz nocturno de LCD (pulsar para iluminar).
Monitor	El monitor alfanumérico de LCD (4 líneas X 20 caracteres) con la luz nocturna.
Conectores	4 conectores banana, polos enroscados para los electrodos de corrientes y de potenciales. El conector de 10-polo de KPT para energía externa, R 232C y las conexiones de sincronización.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Alimentación de energía, al campo	12/24V DC energía externa, conector en el panel frontal. La máxima salida de energía se incrementa cuando se utiliza alimentación 24V.
Suministro de Energía	12V, batería interna recargable. Conector externo en el panel frontal, el instrumento selecciona automáticamente batería externa sí la hay.
Tiempo de operación	Depende de las condiciones, la red de circuitos interna en el modo auto ajusta la corriente para ahorrar energía. En 20 mA la corriente de salida y 10 kW resistencia de electrodo, más de 2000 ciclos están disponibles desde un paquete completamente cargado de batería.
Cargador de batería	El cargador con doble paso con la entrada cambiable (115/230 V AC @ 50/60 ciclos)
Peso	6.6 kg (14.5 lb.)
Dimensiones	Anchura 255 mm (10"), longitud 255 mm (10") y altura 123 mm (5").

Tabla 4.2.- Características del Equipo.

b) Accesorios del equipo

- Consola del equipo
- Cargador de Batería Minsting 110/220 v,
- Cable cargador de entrada, código 911501
- Adaptador para cargar la batería Ministing
- Cable conector MiniSting a la PC,
- Adaptador USB
- Cable externo de corriente
- Fusibles de 15 Amp, 5x10 mm
- Test Resistor

c) Otros Accesorios

- 02 GPS Satelital, Garmin 84x
- 01 Teléfono Satelital
- 01 Cámara Fotográfica
- 04 Radio transmisor portátil (walkie talkie)
- 01 Multímetro
- 02 Carretes de cables de 500 metros cada uno, para los electrodos AB.
- 02 Carretes de cables de 50 metros cada uno, para los electrodos MN.
- 02 Electrodos de acero para emisión AB
- 02 Electrodos de acero para recepción MN
- 01 Laptop, para descarga de datos.



Figura 4.7.- Accesorios del Equipo.

4.2.5 Registros SEV ejecutados en campo

Los veinte (20) sondajes realizados en el área de interés fueron ejecutados con distancias AB/2 de 200 y 250 metros, en donde se tomaron 20 lecturas en cada punto SEV con diferentes distancias para A-B y M-N con su respectiva constante K determinada en gabinete para cada número de lectura, generándose así 400 datos en total que fueron procesados e interpretados en gabinete (ver anexo 1: Hojas de campo).

N° Lectura	Distancia entre A-B (m)	Distancia entre M-N (m)	Constante K
1	6.00	1.50	17.70
2	10.00	1.50	51.20
3	14.00	1.50	101.40
4	20.00	1.50	208.30
5	20.00	5.00	58.90
6	30.00	5.00	137.40
7	40.00	5.00	247.40
8	60.00	5.00	561.60
9	60.00	15.00	176.70
10	80.00	15.00	323.30
11	100.00	15.00	511.80
12	140.00	15.00	1014.50
13	200.00	15.00	2082.60
14	200.00	50.00	589.00
15	300.00	50.00	1374.40
16	400.00	50.00	2474.00
17	600.00	50.00	5615.60
18	600.00	100.00	2748.90
19	800.00	100.00	10013.80
20	1000.00	100.00	15668.70

Tabla 4.3.- Distancia entre A-B y M-N para cada lectura, Donde m: metros.

La ubicación geográfica de los 20 puntos de SEV registrados en campo se detalla en la siguiente tabla. Para mayor detalle ver mapa N° 4, que muestra la ubicación espacial de los sondajes eléctricos.

Punto de Evaluación	P	royección UTM WGS84 – Zo	ona 18 SUR
Tunto de Evaluación	Este (m)	Norte (m)	ALTITÚD (msnm)
SEV - 01	494440	9010818	203
SEV - 02	494503	9010698	232
SEV - 03	492334	9012601	225
SEV - 04	493154	9013573	254
SEV - 05	491205	9015595	259
SEV - 06	493057	9011936	226
SEV - 07	492060	9011336	277
SEV - 08	490442	9014013	241
SEV - 09	491494	9014082	238
SEV - 10	491626	9013393	245
SEV - 11	490498	9015686	240
SEV - 12	491612	9015191	253
SEV - 13	491294	9017386	232
SEV - 14	490476	9017918	248
SEV - 15	490747	9016481	234
SEV - 16	490685	9016941	257
SEV - 17	491351	9016054	222
SEV - 18	490234	9017056	236
SEV - 19	490869	9010430	257
SEV - 20	492097	9014581	209

Tabla 4.4.- Ubicación de los puntos de evaluación de SEV.

4.3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.3.1 Interpretación Cualitativa

Las curvas obtenidas en campo fueron llevadas a papel bi-logaritmico y suavizadas respectivamente, para luego agruparlas en las cuatro familias de curvas conocidas como A, H, K y Q que estable los ábacos de Orellana y Money (1966), para realizar la interpretación de cada uno de los sondajes eléctricos verticales (SEV) con la finalidad de determinar los espesores y resistividades de cada uno de los estratos Hidrogeológicos presentes en la zona de estudio.

Las curvas de campo fueron procesadas mediante los software IPI2WIN y EARTHIMAGER 1D, los cuales se presentan en el **anexo 2.**

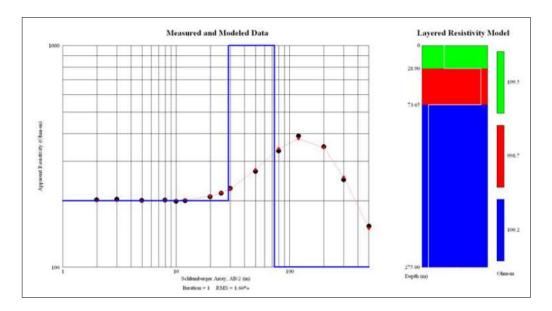


Figura 4.8.- Interpretación cualitativa (Fuente: EarthImager, 2014).

4.3.2 Interpretación Cuantitativa

Para la interpretación cuantitativa se ha correlacionado los resultados de los modelos de inversión de cada sondaje eléctrico vertical, identificándose siete horizontes que fueron adecuadamente correlacionados según sus resistividades y espesores que se muestran en la siguiente tabla:

CODIGO	н	1	H2	2	H3	3	н	4	H5	5	H	5	H7	,
CODIGO	R1 (Ωm)	h1 (m)	R2 (Ωm)	h2 (m)	R3 (Ωm)	h3 (m)	R4 (Ωm)	h4 (m)	R5 (Ωm)	h5 (m)	R6 (Ωm)	h6 (m)	R7 (Ωm)	h7
SEV1	29.20	1.50	2.55	0.70	17.60	49.10	0.74	55.60	333.00	-	-	-	-	-
SEV2	23.70	4.99	3.47	4.31	12.20	169.00	0.02	-	-	-	-	-	-	-
SEV3	39.50	1.83	9.26	18.10	15.80	17.20	1.72	39.60	608.00	-	-	-	-	-
SEV4	8.16	1.50	5.74	6.80	19.50	18.30	0.75	47.70	350.00	-	-	-	-	-
SEV5	156.00	1.50	23.80	3.99	5.43	4.27	16.60	17.50	2.01	200.00	76.50	-	-	-
SEV6	9.35	2.42	6.01	3.54	21.80	5.27	5.49	41.30	0.86	49.30	267.00	-	-	-
SEV7	16.10	1.50	4.36	1.95	57.60	2.98	14.40	65.30	4.12	97.50	47.10	-	-	-
SEV8	62.30	1.50	40.00	4.51	14.40	50.20	3.67	58.20	41.65	-	-	-	-	-
SEV9	12.40	2.42	3.46	3.18	694.00	20.60	7.54	43.30	3550.00	-	-	-	-	-
SEV10	33.00	1.83	13.20	13.90	6.83	13.10	36.00	29.40	1.85	63.20	895.00	-	-	-
SEV11	46.30	1.50	9.17	4.44	3.74	6.35	21.20	11.00	5.28	86.20	0.91	133.00	60.40	-
SEV12	18.10	1.95	24.50	2.06	6.69	44.10	1.09	53.30	402	-	-	-	-	-
SEV13	17.80	1.80	56.20	1.96	14.90	4.10	10.90	26.50	5.23	-	-	-	-	-
SEV14	8.33	1.50	5.21	12.30	2.98	11.20	17.00	38.60	1.24	58.90	600.00	-	-	-
SEV15	20.90	1.80	10.69	6.86	19.31	10.32	3.86	22.63	14.62	49.61	2.38	108.80	471.90	-
SEV16	99.50	1.84	2.02	2.05	33.00	3.72	7.95	84.20	1.21	75.10	353.00	-	-	-
SEV17	7.03	1.80	4.82	17.24	14.64	72.28	1.58	108.80	286.70	-	-	-	-	-
SEV18	6.16	2.82	3.84	5.67	25.90	7.74	4.09	125.00	2360.00	-	-	-	-	-
SEV19	9.51	1.80	8.90	2.53	13.20	6.07	10.10	14.60	99.40	-	-	-	-	-
SEV20	111.00	1.50	14.10	4.24	3.25	9.41	6.61	28.40	1.80	65.40	774.00	-	-	_

Tabla 4.5.- Resultados del modelo de inversión (Donde m: metros; h: espesor; R: resistividad; H: horizonte; Ωm: ohmio-metro).

Bach. Jannet Vaneza Colquehuanca Quispe

Luego del modelo de inversión de cada curva de resistividad se ha correlacionado sus resistividades y se han agrupado en cinco horizontes con características geoeléctricas diferentes.

4.4 RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS EN LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

4.4.1 Resistividad de las Rocas

Las propiedades físicas que definen a un material de acuerdo con su comportamiento electromagnético son: la constante dieléctrica, la permeabilidad magnética y la resistividad.

La mayoría de las rocas no son buenas conductoras de la corriente eléctrica: son prácticamente aislantes debido a que también lo son los minerales que se encuentran en mayor proporción en ellas (cuarzo, feldespatos, calcita, etc.).

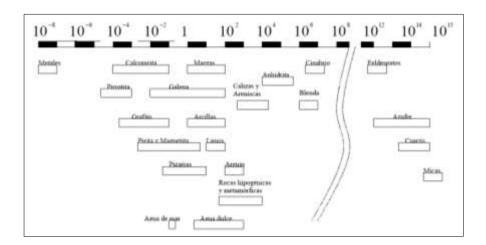


Figura 4.9.- Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales (Fuente: Orellana, 1982).

El fenómeno de conducción eléctrica se presenta por dos razones principales: la primera es la presencia de minerales del tipo metálico, como la pirita, la magnetita, la pirrotita, etc., que hacen que la roca se comporte como un conductor, cuya conductividad aumentará al incrementarse el contenido de estos minerales y su interconexión.

La segunda causa, la más interesante desde el punto de vista hidrogeológico, es la presencia de fluidos en los poros de las rocas, de los cuales el más común es el agua, pudiendo ser también hidrocarburos o gases.

La resistividad eléctrica de las rocas varía en amplios márgenes, por lo que es casi imposible asignar valores específicos a los diversos tipos de roca; no obstante, se pueden estimar criterios observando cuadros publicados en libros y manuales de constantes físicas.

Por ejemplo una caliza sana y compacta puede tener resistividades mayores a 5,000 ohmm, mientras que una caliza con alteración a arcilla fisurada y saturada de agua puede presentar resistividades de algunas decenas de ohm-m; lo mismo sucede con los basaltos, que en un estado compacto y sano son usualmente muy resistivos pero cuando presentan fracturas, alteraciones a arcillas y saturación de agua su resistividad baja considerablemente.

Por otro lado, puede decirse que los factores que determinan la resistividad promedio de las rocas se conservan a menudo en toda una unidad de roca, y debido a esto, puede diferenciarse una formación de otra tomando como base las mediciones de la resistividad.

De los resultados, se puede asociar las resistividades obtenidas con los valores de resistividad teóricos presentados en la Tabla 4.6, donde las arcillas compactas y arenas arcillosas son los tipos de suelo predominantes en el área de estudio de estudio.

RESISTIVIDAD PARA DIFI	ERENTES TIPOS DE SUELO
Tipo de Suelo	Resistividad en Ω*m
Terrenos Pantanosos.	20 - 100
Limo.	10 - 150
Humus.	5 - 100
Arcilla plástica.	50
Margas y arcilla compactas.	100 - 200
Margas del jurásico.	30 - 40
Arena arcillosa.	50 - 500
Arena silícea.	200 - 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped.	300 - 500
Suelo pedregoso desnudo.	1500 - 3000
Caliza blandas.	100 - 300
Calizas compactas.	1000 - 5000
Calizas agrietadas.	500 - 1000
Pizarras.	50 - 300
Rocas de mica y cuarzo.	800
Granitos y gneis alterados.	1500 - 10000
Granitos y gneis muy alterados.	100 - 600
Hormigón.	2000 - 3000
Basalto.	3000 - 5000

Tabla 4.6.- Resistividades de diferentes tipos de suelo en ohm*m (Fuente: lakubovskii, IU. V., Liajov, L.L., Exploración eléctrica. Ed. Reverté, Barcelona, España, 1980).

4.4.2 Características eléctricas del acuífero

Los acuíferos presentan generalmente características eléctricas diferentes, que dependen principalmente de la resistividad de la roca que contiene el acuífero, de la resistividad del agua y de la permeabilidad; por lo tanto, con la profundidad de investigación en cada uno de los sondajes realizados, se determinó que el acuífero de la zona de estudio presenta en un cambio vertical claro entre la zona saturada y la no saturada de la roca.

Con la finalidad de entender a priori los valores de resistividad de los registros geoeléctricos realizados, se ha visto por conveniente dar un rango de resistividades donde se agrupen la los valores de resistividad determinados en el área de estudio. Con ésta finalidad se agruparon en tres rangos que se describen a continuación.

- Menor de 10 Ω-m

Estas resistividades son características de rocas alteradas por efectos del tectonismo, intemperismo que han sufrido las rocas y suelos cuaternarios, además a la cual se suma el contenido de humedad y presencia de sales intercalados con depósitos consolidados ; característico de este tipo de materiales ya que facilita el paso de la corriente eléctrica a través de ellos.

- Entre 10 y 80 Ω-m

Este rango de resistividades es típico de estrato saturados con agua, debido a la baja resistividad puede ser asociado como un rango característico de presencia de agua subterránea que a su vez presenta una buena permeabilidad y conductividad eléctrica, por otro lado también puede ser asociado a arcillas saturadas.

- Mayor de 100 Ω-m

Por sus características resistivas deben corresponder a los siguientes tipos de rocas: una alternancia de rocas sedimentarias, con un mayor grado de consolidación, otro factor preponderante en los rangos de resistividades seria la edad de formación de estas rocas, ya que al hablar de rocas más antiguas se entiende que están más consolidadas y compactas, es decir rocas con un rango de resistividades altas, producto de la poca o casi nula presencia de humedad y la no existencia de un espacio poroso.

Otro tipo de roca que presenta este tipo de resistividades son las rocas de origen ígneo y mayores aún son los valores de resistividad en las rocas metamórficas, ya que estas han

sufrido un re-proceso de re-cristalización de sus componentes minerales debido a los cambios en presión y temperatura en su etapa de formación.

A continuación se presenta la tabla de correlación de los resultados de resistividades y espesores de cada uno de los sondajes eléctricos realizados, donde se logró correlacionar e identificar cinco horizontes con características diferentes.



Figura 4.10.- Toma del registro SEV-04 en campo.

						CORRELA	CIÓN DE RESIST	IVIDADES						
SEV N°	Horizor	nte 1	Horizo	onte 2	Horizon	te 3	Horizon	te 2	Но	rizonte 3	Horizont	te 4	Horizon	te 5
SEV IN	R (ohm-m)	h (m)	R (ohm-m)	h (m)	R (ohm-m)	h (m)	R (ohm-m)	h (m)	h (m)	R (ohm-m)	R (ohm-m)	h (m)	R (ohm-m)	h (m)
SEV1	29.20	1.50	2.55	0.70	17.60	49.10	-	-	-	-	0.74	55.60	333.00	-
SEV2	23.70	4.99	3.47	4.31	12.20	169.00	-	-	-	-	0.02	-	-	-
SEV3	39.50	1.83	9.26	18.10	15.80	17.20	-	-	-	-	1.72	39.60	608.00	-
SEV4	8.16	1.50	5.74	6.80	19.50	18.30	-	-	-	-	0.75	47.70	350.00	-
SEV5	156.00	1.50	5.43	4.27	16.60	17.50	_	_	_		2.01	200.00	76.50	_
SEVS	23.80	3.99	3.43	4.27	10.00	17.50	-	-	-	-	2.01	200.00	76.50	-
SEV6	_	_	9.35	2.42	21.80	5.27	_	_	_	_	0.86	49.30	267.00	_
JLVU			6.01	3.54	5.49	41.30					0.80	49.50	267.00	
SEV7	16.10	1.50	4.36	1.95	14.40	65.30	_	_	_	_	4.12	97.50	47.10	_
JLV/	10.10	1.50	57.60	2.98	14.40	05.50	_	_	_	_	4.12	37.30	47.10	
SEV8	62.30	1.50	40.00	4.51	14.40	50.20	-	-	-	-	3.67	58.20	41.65	-
SEV9	_	_	_	_	12.40	2.42	694.00	20.60	_	-	7.54	43.30	3550.00	_
JEVJ					3.46	3.18	054.00	20.00			7.54	45.50	3330.00	
SEV10	33.00	1.83	13.20	13.90	36.00	29.40	_	_	_	_	1.85	63.20	895.00	_
52710	33.00	1.05	6.83	13.10	30.00	25.40					1.03	03.20	833.00	
			9.17	4.44							5.28	86.20		
SEV11	46.30	1.50			21.20	11.00	-	-	-	-			60.40	-
			3.74	6.35							0.91	133.00		
SEV12	18.10	1.95	-	-	24.50	2.06	6.69	44.10	-	-	1.09	53.30	402.00	-
SEV13	17.80	1.80	56.20	1.96	14.90	4.10	-	-	-	-	5.23	-	-	-
					10.90	26.50								
SEV14	8.33	1.50	5.21	12.30	17.00	38.60	-	-	-	-	1.24	58.90	600.00	-
CE1/4E	20.00	4.00	2.98	11.20	40.24	40.00	2.06	22.52	44.62	40.54	2.20	400.00		
SEV15	20.90	1.80	10.69	6.86	19.31	10.32	3.86	22.63	14.62	49.61	2.38	108.80	471.90	-
SEV16	99.50	1.84	2.02	2.05	33.00	3.72	-	-	-	-	1.21.00	75.10	353.00	
			7.02	1.00	7.95	84.20								-
SEV17	-	-	7.03	1.80	14.64	72.28	-	-	-	-	1.577.00	108.80	286.70	
CE1/40	C 4 C	2.02	4.82	17.24	25.00						4.00	425.00		-
SEV18	6.16	2.82	3.84	5.67	25.90	7.74	-	-	-	-	4.09	125.00	2360	-
SEV19	9.51	1.80	8.90	2.53	13.20	6.07	-	- 0.44	-	-	10.10	14.60	99.40	-
SEV20	111.00	1.50	-	-	14.10	4.24	3.25	9.41	-	-	1.80	65.40	774.00	-
							6.61	28.40						

Tabla 4.7.- Correlación de resultados de resistividad, donde R: resistividad; h: espesor.

Bach. Jannet Vaneza Colquehuanca Quispe

4.5 PERFILES GEOELÉCTRICOS

Para representar la interpretación de los sondajes eléctricos en relación a la composición estratigráfica del suelo, y los resultados de correlación de resistividades se han realizado seis (06) perfiles geoeléctricos con longitudes de hasta 1994 metros y profundidades de investigación desde 30 hasta los 240 metros, los cuales fueron estimados mediante los datos geoeléctricos obtenidos a partir de las curvas de campo.

En el mapa N° 5 del **anexo 4** se puede apreciar la ubicación de los perfiles y los cambios verticales de cada perfil geoeléctrico que se describe a continuación.

4.5.1 Perfil 01 (Geoeléctrico A-A')

El perfil A-A' tiene orientación NO-SE. Ubicado cerca de la quebrada Shansho, tiene una longitud de 136.00 metros donde se observa la distribución de los estratos geoeléctricos, pudiendo observarse el tercer estrato como el más importante y de interés hidrogeológico por presentar valores resistivos de materiales tales como arenas, areniscas y arcillas (acuífero).El perfil geoeléctrico A-A' presenta cinco (05) horizontes que se describen a continuación:

- Primer horizonte Geoeléctrico.- Este estrato presenta resistividades que van desde los 29.20 hasta los 23.70 Ω-metro, esta distribución de resistividades nos indica materiales de cobertura, presenta espesores de 1 a 5 m.
- Segundo horizonte Geoeléctrico.- presenta una resistividad aproximada de 3 Ω-metros.
 La distribución de sus resistividades hace suponer que estarían conformadas por arena,
 limos y arcillas. El espesor del estrato es aproximadamente de 4 metros.
- Tercer horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte presenta resistividades que van de 17.60
 a 12.42 Ω-metros, correspondiente al acuífero presente en la zona presentando buena
 permeabilidad y espesores que van desde los 49 a 160 metros.
- Cuarto horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte presenta sedimentos con salinidad, nuevamente se presentan resistividades bajas esto debido a material saturado con presencia de sales que lo hacen más conductivo y menos resistivo, su resistividad oscila entre 0.737 y 0.02 Ω-metros, con un espesor de aproximadamente 55 metros, y donde además presenta un moderado buzamiento.
- Quinto horizonte Geoeléctrico.- presenta altos valores de resistividad mayores de 333
 ohm-m, el cual no aparece en la profundidad de investigación del SEV 02.

4.5.2 Perfil 02 (Geoeléctrico B-B')

El perfil B-B' tiene orientación NO-SE. Ubicado cerca de una quebrada que tributa al rio Macuya, elaborado a partir de los SEV 10, SEV 03 y SEV 06, presentando una longitud de 2044 metros donde se observa que la distribución de los estratos geoeléctricos presentan una regular horizontalidad, pudiendo observarse el tercer horizonte como el más importante y de interés hidrogeológico por presentar valores resistivos de materiales tales como arenas y areniscas saturadas (acuífero).

El perfil geoeléctrico B-B´ presenta cinco (05) horizontes que se describen a continuación:

- Primer horizonte Geoeléctrico.- Presenta resistividades que van desde los 6 hasta los 33
 Ω-metro, esta distribución de resistividades nos indica materiales de cobertura propia de los pastizales aledaños al perfil, asimismo presenta espesores de 1 a 2 m.
- Segundo horizonte Geoeléctrico.- Presenta una resistividad aproximada de 6.0 Ω-metros. La distribución de sus resistividades hace suponer que estarían conformadas por limos y arcillas. El espesor del estrato es aproximadamente de 20 metros.
- Tercer horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte presenta resistividades que van de 15.80
 a 21.80 Ω-metros, correspondiente al acuífero presente en la zona presentando buena permeabilidad y espesores que van desde los 30 a 41 metros.
- Cuarto horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte presenta sedimentos con salinidad, nuevamente se presentan resistividades bajas esto debido a material saturado con presencia de sales que lo hacen más conductivo y menos resistivo, su resistividad oscila entre 0.86 y 1.85 Ω-metros, con un espesor de aproximadamente 60 metros.
- Quinto horizonte Geoeléctrico.- presenta altos valores de resistividad mayores de 267
 ohm-m, presentando su límite de capa en forma ondulada.

4.5.3 Perfil 03 (Geoeléctrico C-C')

El perfil C-C' tiene orientación SO-NE, el cual fue correlacionado con los puntos SEV 8 y SEV 9, cubriendo una longitud de 1054 metros, donde se observa la distribución vertical de los horizontes geoeléctricos de los cuales el tercer horizonte es el más importante y de interés hidrogeológico por presentar valores resistivos de materiales tales como arenas y arcillas saturadas (acuífero).

El perfil geoeléctrico C-C´ presenta cinco (05) horizontes que se describen a continuación:

- Primer horizonte Geoeléctrico.- Presenta resistividades que van desde los 62 Ω-metro, esta distribución de resistividades nos indica materiales de cobertura propia de los pastizales aledaños a el perfil, asimismo presenta espesores de 1 a 2 m. Presentándose solo en el SEV 8.
- Segundo horizonte Geoeléctrico.- Presenta una resistividad aproximada de 40 Ω-metros. La distribución de sus resistividades hace suponer que estarían conformadas por arcillas moderadamente compactas. El espesor del estrato es aproximadamente de 5 metros. Estas resistividades no se presentan en el SEV 9.
- Tercer horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte presenta resistividades que van de 12.40
 a 14.40 Ω-metros, correspondiente al acuífero presente en la zona presentando buena
 permeabilidad y espesores que van desde los 50 a 2 metros en dirección noroeste a
 sureste.
- Cuarto horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte presenta sedimentos con salinidad, nuevamente se presentan resistividades bajas esto debido a material saturado con presencia de sales que lo hacen más conductivo y menos resistivo, su resistividad oscila entre 3 y 7 Ω-metros aproximadamente, con un espesor de 50 a 60 metros.
- Quinto horizonte Geoeléctrico.- presenta altos valores de resistividad mayores de 200 ohm-m, este horizonte presenta un ligero buzamiento de SE a NO, el cual estaría asociado al sistema de fallas locales presentes en la zona.

4.5.4 Perfil 04 (Geoeléctrico D-D')

El perfil D-D' tiene orientación NO-SE. El cual corta la quebrada muestreada correspondiente al AG-04 el cual tributa al rio Macuya, tiene una longitud de 1340 metros donde se observa la distribución de los horizontes geoeléctricos, pudiendo observarse el tercer estrato de interés hidrogeológico por presentar valores resistivos de materiales de buena permeabilidad (acuífero).

El perfil geoeléctrico D-D´ presenta cinco (05) horizontes, las que se describen a continuación:

- Primer horizonte Geoeléctrico.- Presenta resistividades que van desde los 9 a 15 Ω-metro, esta distribución de resistividades nos indica materiales de cobertura de vegetación, asimismo presenta espesores de 1 a 4 m.
- **Segundo horizonte Geoeléctrico.** Presenta un ondulamiento correspondiente a su relieve superficial con resistividades aproximadas de 8 Ω -metros. La distribución de sus

resistividades hace suponer que estarían conformadas por arcillas saturadas. El espesor del estrato es aproximadamente de 5 metros. El mismo que es más potente al sureste y se hace delgado al noroeste.

- **Tercer horizonte Geoeléctrico.** Este horizonte no se presenta de forma regular, aparece y desaparece en cada punto evaluado, con resistividades que van de 13 a 24 Ω -metros, correspondiente al acuífero presente en la zona presentando buena permeabilidad y espesores que van desde los 17 a 2 metros en dirección noroeste a sureste.
- Cuarto horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte es el más potente del perfil presentando sedimentos con salinidad, nuevamente se presentan resistividades bajas esto debido a material saturado con presencia de sales que lo hacen más conductivo y menos resistivo, su resistividad oscila entre 2 y 10 Ω-metros aproximadamente, con un espesor de 14 a 200 metros.
- Quinto horizonte Geoeléctrico.- presenta altos valores de resistividad mayores de 100 ohm-m, este horizonte no se presenta al noroeste del perfil.

4.5.5 Perfil 05 (Geoeléctrico E-E')

El perfil E-E' tiene orientación SO-NE con una longitud de 929 metros donde en la distribución vertical de sus estratos geoeléctricos, se puede observar que el tercer estrato presenta resistividades de interés hidrogeológico y materiales con buena permeabilidad.

El perfil geoeléctrico E-E´ presenta cinco (05) horizontes, las que se describen a continuación:

- Primer horizonte Geoeléctrico.- Presenta resistividades de 46.30 Ω-metro, esta distribución de resistividades nos indica materiales de cobertura de vegetación, asimismo presenta espesores de 1 a 2 m.
- Segundo horizonte Geoeléctrico.- Presenta un ondulamiento correspondiente a su relieve superficial con resistividades aproximadas de 7 Ω-metros. La distribución de sus resistividades hace suponer que estarían conformadas por arcillas saturadas. El espesor del estrato es aproximadamente de 17 metros, el mismo que es más potente en la parte central del perfil.
- Tercer horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte no se presenta de forma regular, presentando resistividades que van de 14 a 21 Ω-metros, correspondiente al acuífero presente en la zona presentando buena permeabilidad y espesores irregulares que van desde los 11 a 72 metros.

- Cuarto horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte es el más potente del perfil presentando sedimentos con salinidad, nuevamente se presentan resistividades bajas esto debido a material saturado con presencia de sales que lo hacen más conductivo y menos resistivo, su resistividad oscila entre 0.9 y 5 Ω-metros aproximadamente, con un espesor de 86 a 108 metros.
- Quinto horizonte Geoeléctrico.- presenta altos valores de resistividad mayores de 100 ohm-m, presentándose con una ligera inclinación hacia el suroeste del perfil.

4.5.6 Perfil 06 (Geoeléctrico F-F')

El perfil F-F' tiene una orientación SO-NE, con una longitud de 1463 metros donde se observa la distribución vertical de los cinco estratos geoeléctricos identificados, del cual el tercer estrato u horizonte es de interés hidrogeológico.

- Primer horizonte Geoeléctrico.- Presenta resistividades que van desde 8 a 90 Ω-metro, esta distribución de resistividades nos indica materiales de cobertura de vegetación propia de la amazonia, asimismo presenta espesores de 1.50 a 1.80 metros.
- **Segundo horizonte Geoeléctrico.** Presenta un ondulamiento correspondiente a su relieve superficial con resistividades entre 2 y 10 Ω -metros. La distribución y valores de sus resistividades hacen suponer que estarían conformadas por arcillas saturadas. El espesor del estrato es aproximadamente de 12 metros. Este horizonte aparece en los SEV 14 y 16.
- Tercer horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte no se presenta de forma regular, aparece y desaparece en el punto SEV 15, a lo largo del perfil presenta resistividades que van de 10 a 30 Ω-metros, correspondiente al acuífero presente en la zona presentando una buena permeabilidad y espesores que van desde los 10 a 80 metros.
- Cuarto horizonte Geoeléctrico.- Este horizonte es casi homogéneo a lo largo del perfil
 presentando sedimentos con salinidad, de resistividades muy bajas entre 1 y 2 Ωmetros, esto debido a material saturado con presencia de sales que lo hacen más
 conductivo y menos resistivo, con un espesor de 50 a 100 metros.
- Quinto horizonte Geoeléctrico.- presenta una inclinación ligera hacia el sureste del perfil
 con altos valores de resistividad mayores de 350 ohm-m, correspondiente a material
 consolidado y compacto.

En el mapa N° 12 del **anexo 4** se puede observar que las mayores isoresistividades se encuentran alrededor del SEV 10, entre los meandros de dos quebradas, una de ellas

identificada como Quebrada Selva alegre, esta zona presenta resistividades entre 36 y 26 ohm-m, correspondiente a limos y arcillas de grano fino de la formación Chambira e Ipururo característicos de presentar permeabilidades bajas y medias, el cual explica la variabilidad de valores obtenidos en el último estrato identificado.

CAPITULO V

MARCO HIDROLÓGICO

Aunque la hidrogeología se refiere exclusivamente al estudio del agua subterránea, un hidrogeólogo debe comprender todos los aspectos del ciclo hidrológico, ya que las aguas subterráneas no representan más que una parte del ciclo hidrológico total del agua. El agua en la naturaleza sigue un movimiento cíclico permanente de un sitio a otro, pasando por diversos estados: sólido, líquido y gaseoso. El agua en estado líquido se encuentra en la atmósfera, lagos, mares, ríos, lluvia y en el suelo y subsuelo, siendo esta última el objeto de estudio particular desde el punto de vista hidrogeológico.

Considerando que la recarga de los acuíferos proviene básicamente de la infiltración, ya que parte del volumen infiltrado al subsuelo percola a mayor profundidad, llegando a las formaciones geológicas denominadas "acuíferos", donde la posible variación del régimen de lluvias puede modificar el proceso de infiltración del agua en el terreno y ocurrir variaciones en la recarga del acuífero, por ello es importante evaluar los parámetros hidrológicos más resaltantes del área de estudio, considerando que el Sector de Macuya presenta abundancia de agua proveniente de la precipitación pluvial que ocurre durante todo el año, el cual mantiene el régimen del río Macuya y sus quebradas afluentes.

5.1 HIDROGRAFÍA

Hidrográficamente el sector de Macuya se ubica en la Región Hidrográfica del Amazonas, específicamente en la cuenca del río Pachitea comprometiendo específicamente la cabecera del río Macuya, constituyendo el ámbito de interés para el presente estudio.

La cuenca del río Macuya tiene un área total que asciende a 862.3 km² y sus límites dibujan una forma casi cuadrada.

Desde el punto de vista hidrológico, el área de estudio se caracteriza principalmente por ser de baja pendiente; ello, da lugar a que el río Macuya y sus quebradas tengan una alta sinuosidad en su recorrido, consecuentemente también una baja velocidad del agua, lo cual permite la acumulación de arenas y sedimentos a lo largo de sus cauces, principalmente en los meses de máximas avenidas (diciembre a marzo).

A continuación se explica las características más importantes del río Macuya:

Río Macuya: este cuerpo de agua es un tributario del río Pachitea por su margen izquierda, 42 Km en línea recta desde la confluencia del río Pachitea con el río Ucayali. Este río tiene dirección de nor-oeste a sur-este, conformado principalmente por una red hídrica de tres quebradas, las cuales presentan alta sinuosidad en su recorrido, presenta además una longitud de 64 km desde su naciente hasta la confluencia con el río Pachitea.

En la **Figura 5.1** se presenta el diagrama fluvial donde se muestra en forma esquemática la red fluvial que compromete al área de estudio.

Mientras que en el Mapa N°6 del **anexo 4,** se observa los principales ríos que conforman el área de estudio.

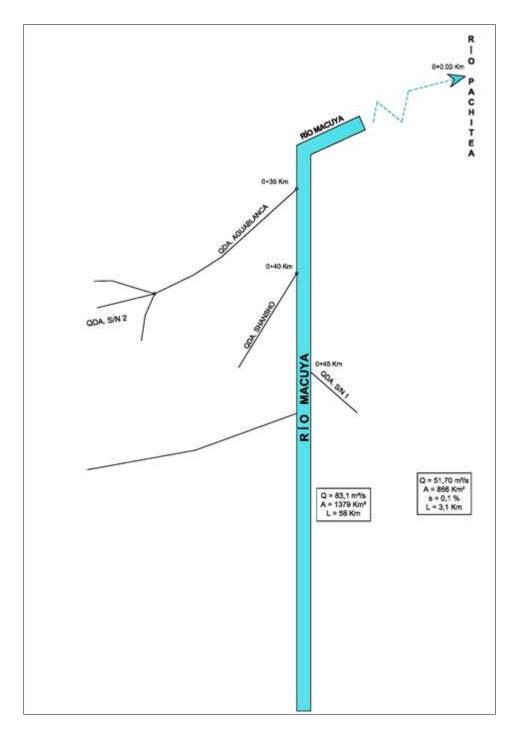


Figura 5.1.- Diagrama fluvial.

5.2 PRECIPITACIONES

Las precipitaciones en el ámbito de estudio, principalmente son producto de la alta evapotranspiración (evaporación de los cuerpos de agua + transpiración de las plantas), a las que suman las masas de aire cargadas de humedad que se desplazan desde el océano Atlántico (este) hacia el oeste, llegando a precipitar gran parte en el llano amazónico. Una

Parte de las masas de nubes remanentes pasan luego hacia la Cordillera de los Andes, donde se precipitan.

5.2.1 Estaciones Pluviométricas

Para el presente estudio se han analizado las precipitaciones de las estaciones meteorológicas de San Alejandro y Tournavista. La Estación San Alejandro se ubica dentro del área de estudio; y la estación Tournavista, se ubica a 60 km (lado este) de la Estación San Alejandro. Consecuentemente, la información que se analiza, es representativa del área de estudio.

En la **Tabla 5.1** se muestra las características de las estaciones meteorológicas analizadas; así mismo se presenta la precipitación media anual, que se registran en cada una de ellas.

Estación	Tipo	Altitud (msnm)	Longitud (W)	Latitud (S)	Periodo de Información
Tournavista	C.O.	160	74º42′	8º55'	2003 - 2010
San Alejandro	C.O	244	75º12'	8º49'	2001 - 2010

Tabla 5.1.- Características de las estaciones meteorológicas analizadas, donde C.O: Climatológica Ordinaria (SENAMHI, 2011).

Para el presente estudio, se cuenta con información pluviométrica mensual y anual actualizada de las estaciones climatológicas de San Alejandro y Tournavista.

5.2.2 Precipitaciones Mensuales y Anuales

La información pluviométrica a nivel mensual y anual de la estación San Alejandro, fue utilizada para completar la información faltante de la estación Tournavista, con lo cual se ha generado información faltante de los años 2001 y 2002; así como también se ha completado la información mensual faltante de los años 2005 y 2007.

En forma general, en ambas estaciones se presentan una estacionalidad marcada típico de la vertiente del Atlántico.

- Época húmeda: diciembre, enero, febrero, marzo y abril
- Época transicional de húmeda a seca: mayo
- Época seca: junio, julio y agosto.

5.2.3 Época transicional de seca a húmeda: Diciembre

La distribución de la precipitación durante el año en la estación climatológica de San Alejandro es: época húmeda: 1503.30 mm (60 %); época transicional de húmeda a seca: 145.40 mm (5.8 %); época seca: 255.90 mm (10.2%) y época transicional de seca a húmeda: 603 mm (24 %).

La distribución de la precipitación durante el año en la estación climatológica de Tournavista es: época húmeda: 1195.10 mm (63.5 %); época transicional de húmeda a seca: 91.90 mm (4.8 %); época seca: 168.90 mm (9.0 %), y época transicional de seca a húmeda 424.40 mm (22.6 %).

En las **Tablas 5.2** y **5.3**, se muestra los valores de las precipitaciones mensuales la precipitación en el área de estudio.

Año	E	F	М	Α	М	J	J	Α	S	0	N	D	ANUAL
2001	371,3	391,3	220,9	192,6	175,1	96.6	84,1	29,6	203,1	206,5	172,4	312,0	2 455,5
2002	211,8	654,7	362,8	278,8	168,0	41,8	154,6	61,2	262,4	218,4	200,0	306,4	2 920,9
2003	276,5	368,9	364,2	270,8	91,9	77,6	50,8	90,9	142,0	244,5	348,9	342,2	2 669,2
2004	632,9	333,3	256,8	312,4	153,2	82,1	141,1	91,3	190,2	154,1	368,0	322,5	3 037,9
2005	260,8	114,0	226,3	287,6	133,5	123,9	17,8	123,8	85,4	245,4	56,4	342,0	2 016,9
2006	238,4	293,7	406,0	178,0	120,1	94,4	33,7	101,3	298,2	287,7	372,0	443,5	2 867,0
2007	219,0	329,2	198,2	215,1	100,9	66,6	123,2	26,3	52,5	334,3	132,3	424,3	2 221,9
2008	319,0	202,9	289,6	136,8	95,6	89,1	67,0	55,6	144,0	153,8	260,5	375,3	2 189,2
2009	288,3	456,7	217,4	217,9	233,9	164,9	52,2	72,7	104,2	53,4	222,0	179,9	2 263,5
2010	344,3	379,2	125,2	289,4	182,2	44,7	297,0	2,5	110,9	259,4	154,6	272,4	2 461,8
Promedio	316,2	352,4	266,7	237,9	145,4	88,2	102,2	65,5	159,3	215,8	228,7	332,1	2 510,4
Desv. Est.	122,9	144,6	88,0	57,9	45,6	36,4	82,4	37,9	78,6	79,5	107,4	75,2	348,9
Máxima	632,9	654,7	406	312,4	233,9	164,9	297	123,8	298,2	334,3	372	443,5	3 037,9
Mínima	219	202,9	125,2	136,8	95,6	44,7	33,7	2,5	52,5	53,4	132,3	179,9	2 189,2

Tabla 5.2.- Precipitación mensual y anual (Estación San Alejandro, SENAMHI, 2011).

Año	E	F	M	Α	M	J	J	Α	S	0	N	D	ANUAL
2001	286,1	301,5	170,2	148,4	134,9	74,4	64,8	22,8	156,5	159,2	132,8	240,4	1 892,0
2002	163,2	504,5	279,6	214,8	129,4	32,2	119,1	47,2	202,2	168,3	154,2	236,1	2 250,8
2003	103,9	194,4	259,0	189,0	99,3	85,9	72,6	67,5	82,5	100,9	148,5	203,9	1 607,4
2004	304,6	106,8	202,4	258,3	65,3	60,5	73,5	70,4	146,6	118,7	283,6	248,5	1 939,2
2005	200,1	87,8	174,4	221,6	34,1	42,2	12,7	77,5	120,6	149,6	120,5	338,3	1 579,4
2006	196,5	410,6	190,4	201,1	72,2	114,8	17,1	95,3	21,7	218,3	325,5	366,4	2 229,9
2007	225,2	318,8	190,8	244,8	93,8	51,3	94,9	20,3	40,1	257,1	102,0	327,0	1 966,1
2008	421,2	193,0	221,1	103,9	78,6	81,5	41,2	27,5	23,3	138,6	60,0	213,2	1 603,1
2009	266,4	261,2	314,9	430,5	116,6	46,3	31,2	55,9	193,0	73,3	147,0	130,3	2 066,6
2010	101,6	395,6	145,0	262,7	94,8	19,2	51,0	19,0	99,0	161,6	138,2	180,9	1 668,6

Año	E	F	М	Α	М	J	J	Α	S	0	N	D	ANUAL
Promedio	226,9	277,4	214,8	227,5	91,9	60,8	57,8	50,3	108,6	154,6	161,2	248,5	1 880,3
Desv. Est.	97,4	135,4	53,8	86,7	30,8	28,6	33,9	27,2	66,7	53,6	81,1	74,6	256,4
Máxima	421,2	504,5	314,9	430,5	134,9	114,8	119,1	95,3	202,2	257,1	325,5	366,4	2 250,8
Mínima	101,6	193	145	103,9	72,2	19,2	17,1	19	21,7	73,3	60	130,3	1 603,1

Tabla 5.3.- Precipitación mensual y anual (Estación Tournavista, SENAMHI, 2011).

5.3 CARACTERIZACIÓN DE CAUDAL

El área de interés para el presente estudio se caracteriza por ubicarse entre dos ríos grandes, uno hacia el norte (río Aguaytia) y otro hacia el sur (río Pachitea); ambos ríos son afluentes del río Ucayali por la margen izquierda.

El río Macuya, es afluentes del río Pachitea. A través de este río, el agua superficial que se genera en dicha subcuenca (producto de la precipitación), llega finalmente al río Ucayali, y éste último al confluir con el río Marañón (en Nauta), dan lugar al río Amazonas, considerado como el río más caudaloso del mundo.

5.3.1 Registros de caudales - Información hidrométrica

En el país en general, la información hidrométrica se concentra en los ríos de la vertiente del Pacífico y Titicaca; y en menor cantidad en los ríos de vertiente del Atlántico. Sin embargo, en la actualidad existe también el interés por ir instalando progresivamente Estaciones hidrométricas en los ríos de la vertiente del Atlántico o Amazonas, principalmente en los Ucayali, Marañón y Amazonas, los cuales están siendo materia de aforos periódicos.

El área donde se circunscribe este estudio, en la actualidad no cuenta con estaciones hidrométricas que registren niveles de agua de los ríos, salvo "Requena" que está ubicado en el río Ucayali.

La estación hidrométrica "Requena" está localizada al norte del área de estudio, sin embargo, tiene condiciones climáticas e hidrológicas similares, por tanto la información de esta estación, puede caracterizar también al comportamiento de las quebradas que vierten al rio Macuya, en el entendido que éstas se originan a partir del régimen de las precipitaciones, las cuales son similares en esta parte del país.

Si bien, la información de los caudales del río Ucayali que se presenta, registrados en la estación Hidrométrica Requena no son de uso público; el SENAMHI, gracias a un convenio

de cooperación con el IRD (Institut de Recherche pour le Developpement), vienen realizando monitoreo de los caudales de varios ríos en la Vertiente del Amazonas; cuyos resultados están publicados parcialmente en documentos técnicos.

En la **Figura 5.2** se muestra la hidrografía de la zona oriental del Perú, donde se ubican las principales estaciones hidrométricas en los ríos Marañón, Ucayali y Amazonas. Entre ellas se encuentra la estación hidrométrica Requena, que se ha tomado como referencia para la caracterizar el régimen del río Ucayali y sus tributarios (siendo los ríos Aguaytía y Pachitea parte de dicha cuenca, y el lugar donde se ubica en área de interés del presente estudio).

En la **Tabla 5.4** se muestra las principales características de la estación Hidrométrica Requena.

Río		enadas ráficas	Altitud (msnm)	Región	Provincia	Período de Registro
	Latitud	Longitud	(111511111)			Registro
Ucayali	05º05′ S	73º32' W	200	Loreto	Requena	1984 - 2006

Tabla 5.4.- Características de la Estación hidrométrica Requena (SENAMHI, 2006).

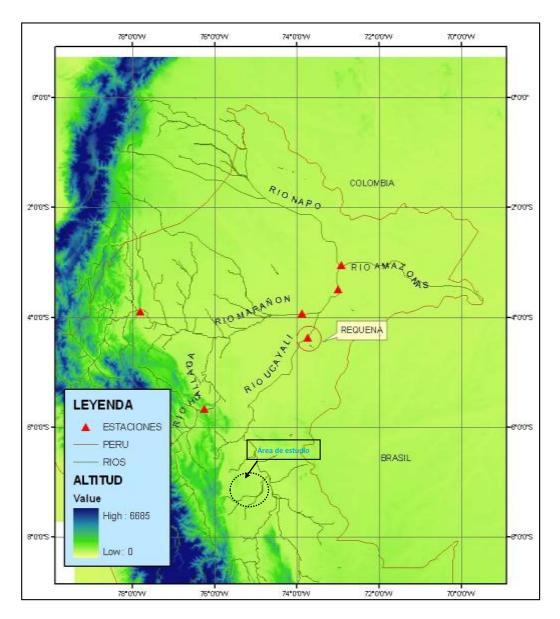


Figura 5.2.- Ubicación regional de las estaciones hidrométricas (Ríos: Ucayali, Marañón y Amazonas), (Adaptado del SENAMHI, 2006).

Considerando que la información de los caudales del río Ucayali medidos en la estación Requena aun no es de uso público, esta información debe tomarse como inédita. La **Figura 5.3** muestra los caudales del río Ucayali, cuyo periodo de registro continuo aproximadamente es de 17 años (1990-2006); los años anteriores a éstos, no se ha considerado porque presentan períodos sin información, tal como se observa en dicha Figura, donde el comportamiento del caudal mensual tiene una variación muy marcada con tendencia a una disminución en los últimos 10 años; por tanto merece revisar esta información, aspecto que rebasa los alcances de este estudio- pero se deja la inquietud de este comportamiento hidrológico del rio Ucayali, que de ser cierto esta tendencia de

disminución progresiva de sus caudales, conllevaría a determinar el origen de este comportamiento.

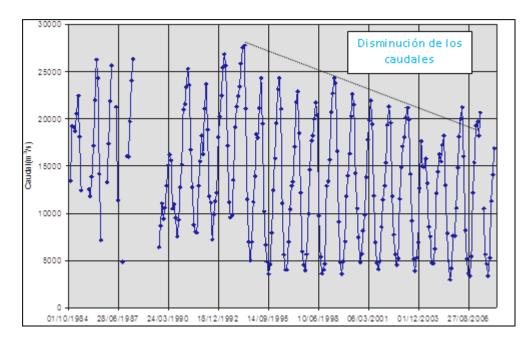


Figura 5.3.- Caudales mensuales (m³/s) de la Estación Requena (Adaptado del SENAMHI, 2006).

En la **Figura 5.4**, se observa la estación Hidrométrica Requena en el río Ucayali, conformada por un conjunto de "Miras" hidrométricas (reglas graduadas que miden el nivel "altura" de las aguas del río), que posteriormente a través de una correlación con los aforos, permite determinar una ecuación matemática que relaciona el nivel del agua en río y los caudales que pasan por él.



Figura 5.4.- Estación Requena en el río Ucayali.

5.3.2 Caudales del Río Ucayali (Estación Requena)

En la **Tabla 5.5** se muestran los caudales mensuales de la estación Requena (1990-2006), que fueron obtenidos tomando como base la **Figura 5.5**, donde a nivel mensual, el caudal promedio varía de 5.23 m³/s (setiembre) hasta 22.33 m³/s (mayo), alcanzando el caudal máximo un valor de 28.00 m³/s (mayo) y un mínimo valor de 3.00 m³/s (agosto). A nivel anual, el caudal asciende a un valor promedio de 13.39 m³/s, con un máximo de 18.62 m³/s y un mínimo de 10.62 m³/s.

En la **Figura 5.5**, se muestra el comportamiento de los caudales a nivel promedio, máximo y mínimo mensual del río Ucayali. La Figura, permite caracterizar el régimen temporal a lo largo del año.

A nivel mensual se puede observar una notoria variación a lo largo del año, evidenciando claramente los períodos de crecida entre los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo; el periodo de estiaje en los meses de agosto y setiembre; los meses de junio y julio corresponden a la época de transición de máximas avenidas a estiaje, y finalmente los meses de octubre, noviembre y diciembre corresponden a la época de transición de estiaje a máximas avenidas. Esta caracterización temporal, es la que predomina en la mayoría de los ríos de la vertiente del Atlántico, salvo en aquellos cuyas cuencas están la zona ecuatorial.

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1990	10 800	13 000	15 000	16 200	15 500	10 500	11 000	9 600	7 200	9 500	12 800	15 200	12 191
1991	21 000	21 500	23 300	25 200	23 500	16 800	13 000	8 800	8 000	7 900	13 000	15 500	16 425
1992	18 400	16 200	21 000	23 800	19 000	11 800	11 000	7 000	9 900	11 200	12 100	18 100	14 958
1993	20 200	23 200	26 000	27 500	26 100	17 000	11 000	9 500	9 700	13 500	19 200	21 000	18 624
1994	22 200	23 500	26 000	27 200	28 000	21 000	11 400	6 900	5 000	6 950	11 100	14 000	16 893
1995	18 000	18 600	21 000	24 500	19 600	10 100	6 500	4 900	3 800	4 600	7 900	12 500	12 630
1996	15 800	19 800	23 000	24 500	21 000	11 000	5 600	4 100	4 100	6 900	10 300	12 800	13 214
1997	13 200	17 000	21 500	22 900	18 600	12 000	5 800	4 600	4 000	5 600	10 000	14 500	12 441
1998	17 800	18 400	20 000	21 700	20 500	9 800	5 400	3 700	4 100	4 600	12 900	13 400	12 651
1999	15 600	20 700	22 600	24 500	23 900	16 500	9 100	4 900	3 500	4 900	6 900	11 500	13 669
2000	14 000	16 100	20 200	22 500	21 400	14 200	11 400	7 200	4 900	5 700	8 100	9 900	12 955
2001	13 900	17 900	19 800	22 000	19 600	11 700	6 900	4 800	4 200	4 900	8 600	11 400	12 100
2002	13 000	15 400	19 500	21 100	19 600	11 700	7 600	5 800	4 500	5 200	11 500	14 800	12 454
2003	17 000	18 100	20 000	21 000	20 000	14 100	9 000	5 100	4 000	5 200	6 700	12 500	12 695
2004	17 600	15 000	15 000	15 700	13 000	8 500	7 500	4 800	4 700	6 000	12 000	14 500	11 181
2005	16 000	15 500	17 200	18 400	13 000	7 800	5 000	3 000	4 200	7 600	7 600	12 500	10 623
2006	14 900	18 100	20 000	21 000	16 000	8 000	5 100	3 600	3 100	5 400	12 000	15 400	11 842
PROM.	16 435	18 118	20 653	22 335	19 900	12 500	8 371	5 782	5 229	6 803	10 747	14 088	13 385
D.S.	3 043	2 907	3 101	3 334	4 103	3 641	2 665	2 050	2 115	2 509	3 088	2 632	2 137
MAX.	22 200	23 500	26 000	27 500	28 000	21 000	13 000	9 600	9 900	13 500	19 200	21 000	18 624

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
MIN.	10 800	13 000	15 000	15 700	13 000	7 800	5 000	3 000	3 100	4 600	6 700	9 900	10 623

Tabla 5.5.- Caudales mensuales del Río Ucayali (m³/s) Estación Requena (Fuente: Adaptado de SENAMHI, 2006 por Ing. Gastón Moreno).

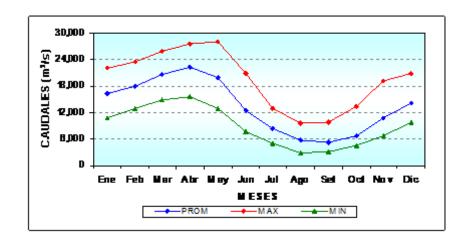


Figura 5.5.- Caudales medios mensuales del Río Ucayali - Estación Requena, (Fuente: Información generada a partir de Gráfico de SENAMHI-documento Inédito).

En la **Figura 5.6** se muestra el comportamiento de los caudales a nivel multianual, así mismo se aprecia que la mayor cantidad de valores se encuentran fluctuando entre los 11,25 m³/s y los 15,52 m³/s, calculados tomando la media +/- la desviación estándar.

Si bien, a nivel anual puede observarse una variación mayor de los caudales entre los años del 1990 – 1995, se observa también una mayor estabilidad los últimos 10 años, por lo menos a nivel medio anual, con una ligera tendencia a disminuir el caudal.

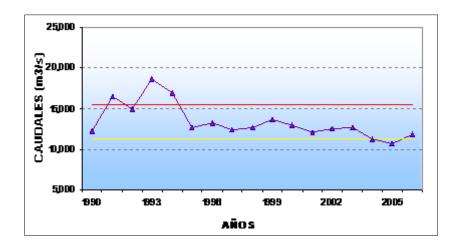


Figura 5.6.- Caudales medios anuales del Río Ucayali - Estación Requena, donde la Línea Roja: caudal media anual más desviación estándar; Línea amarilla: caudal medio anual menos la desviación estándar, Información generada a partir de documentos Técnicos de SENAMHI, 2005).

5.4 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

La Zonificación del Escurrimiento Superficial, constituye una herramienta hidrológica que permite caracterizar un determinado espacio, haciendo uso de zonas homogéneas desde el punto de vista hidrológico. Las "Zonas de Vida" identificadas en el Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976) y ajustados con mayor detalle en los estudios específicos realizados con posterioridad (ONERN, 1980; INRENA, 1995), constituyen una herramienta temática de relevada importancia.

En el Inventario Nacional de Aguas Superficiales (ONERN, 1980), se explica con detalle el método del Escurrimiento Superficial, el cual se basa en los estudios de agua en la atmósfera realizado por Holdridge, donde se establecen las diferentes relaciones que existen entre una Zona de Vida y las condiciones Bioclimáticas (precipitación, temperatura, humedad y la evapotranspiración potencial), y las características de los movimientos del agua en cada una de las provincias de humedad.

SÍMBOLO	ZONA DE ESCURRIMIENTO	PRECIPITACIÓN (MM)	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO**	ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (MM)
bh-T	Bosque húmedo-Tropical	2.00	0.34	900
bmh-PT	Bosque muy húmedo - Premontano Tropical	3.00	0.52	2 040

Tabla 5.6.- Características de las zonas de escurrimiento superficial del área de estudio, ** Ajustado con el coeficiente 0.77, obtenido entre la comparación del caudal medido y el caudal generado del río Ucayali en la Estación Requena. G.M.R. (Fuente: Mapa Ecológico del Perú y Guía Explicativa. ONERN, 1976 / INRENA, 1994).

En la **Tabla 5.7** se muestran los caudales medios anuales generados por ONERN, usando la metodología de la Zonificación del Escurrimiento Superficial. Así mismo en dicha Tabla, se ha agregado una columna donde se indica el caudal medio anual corregido de todos los ríos, obtenido de la multiplicación del caudal medio anual generado (ONERN) por el coeficiente de ajuste (0.77).

El coeficiente de ajuste fue la resultante de la comparación del caudal medio anual generado por la ONERN (17487.20 m³/s) y el caudal medio anual medido en la estación Hidrométrica Requena (13,39 m³/s), calculado a partir de la información existente en el SENAMHI (2006).

Río/código de aforo	Área de Cuenca (Km²)	Caudal Medio anual* (m³/s)	Caudal medio anual Corregido** (m³/s)	Lugar de Referencia
Macuya	262	20.40	15.70	confluencia con ramal izquierdo – h. naciente del río Macuya

Tabla 5.7.- Caudales medios anuales para el Río Macuya,*Caudal obtenido con el método de Zonificación del Escurrimiento Superficial; **Caudal corregido con medición del río Ucayali en la Estación Requena = Qma * 0.77; h: hasta. (Fuente: adaptado del Inventario Nacional de Aguas Superficiales, ONERN-1980).

5.4.1 Régimen Temporal de los Caudales de los Ríos

El régimen temporal de los caudales de los ríos, está asociado directamente al comportamiento estacional de las precipitaciones, y a los flujos subterráneos en cada una de las cuencas de drenaje de los ríos y quebradas. Siendo así, el régimen de las precipitaciones en ámbitos tropicales, trasladan en gran porcentaje dicho comportamiento a la ocurrencia de los caudales de los ríos.

A nivel nacional, el Perú tiene estaciones hidrométricas que controlan el nivel de agua de los ríos. En los ríos de vertiente del Atlántico, las estaciones de medición de niveles de agua son limitadas, entre otras razones, debido a que los usos del agua de los ríos no son mayormente para usos consuntivos.

El mayor uso de las aguas en los ríos de la vertiente del Atlántico, son con fines de transporte fluvial; para ello es importante el conocimiento de los niveles de las aguas de los ríos, principalmente para el transporte de las embarcaciones grandes que transitan por dichos ríos. Existe un esfuerzo del SENAMHI, por ampliar y mejorar el sistema de medición de agua en los ríos de esta vertiente.

En la **Tabla 5.8** se presenta el resumen de los caudales promedios, máximos y mínimos mensuales, registrados en la Estación Requena, a partir de los cuales es posible estimar el caudal del rio Macuya, materia del presente estudio.

Parámetros	E	F	М	Α	М	J	J	Α	s	0	N	D	Anual
Caudal Promedio	16,44	18,12	20,65	22,34	19,90	12,50	8,37	5,78	5,23	6,80	10,75	14,09	13,39
Desviación Estándar	3,04	2,91	3,10	3,33	4,10	3,64	2,67	2,05	2,12	2,51	3,09	2,63	2,14
Caudal Máximo	22,20	23,50	26,00	27,50	28,00	21,00	13,00	9,60	9,90	13,50	19,20	21,00	18,62

Parámetros	E	F	М	Α	М	J	J	Α	s	0	N	D	Anual
Caudal Mínimo	10,80	13,00	15,00	15,70	13,00	7,80	5,00	3,00	3,10	4,60	6,70	9,90	10,62

Tabla 5.8.- Caudales mensuales del Río Ucayali (m³/s) - Estación Requena: Período 1990-2006 (Fuente: Elaboración Ing. Gastón Moreno R., a partir de Gráficos de SENAMHI).

5.4.2 Generación de Caudales Mensuales

La ausencia de estaciones hidrométricas en cada una de los ríos que involucra el área de estudio, obliga a utilizar métodos indirectos de generación de caudales, en base a la información limitada existente.

Para el cálculo de caudales mensuales de los diferentes puntos seleccionados de los ríos que forman el área de estudio, se ha generado la Matriz de Variabilidad Representativa (MVR) que se muestra en la **Tabla 5.9.** Esta Matriz, determina un coeficiente mensual para los valores de los caudales medios, mínimos y máximos mensuales, para luego ser multiplicado con el caudal medio anual calculado por el Método de Escurrimiento Superficial, generando así los caudales mensuales requeridos para cada río en los puntos de interés.

La matriz, se ha determinado dividiendo los caudales mensuales a nivel medio, máximo y mínimo mensual con el caudal promedio anual del río Ucayali en la Estación Requena.

Parámetros	E	F	М	Α	М	J	J	Α	S	0	N	D	Anual
Caudal Máximo	1.66	1.76	1.94	2.05	2.09	1.57	0.97	0.72	0.74	1.01	1.43	1.57	
Caudal Medio	1.23	1.35	1.54	1.67	1.49	0.93	0.63	0.43	0.39	0.51	0.80	1.05	1.00
Caudal Mínimo	0.81	0.97	1.12	1.17	0.97	0.58	0.37	0.22	0.23	0.34	0.50	0.74	

Tabla 5.9.- Matriz de variabilidad representativa - Estación Requena - Río Ucayali; * Coeficiente de Variabilidad Representativa: es la relación adimensional entre el valor mensual del caudal, comparado con el valor del caudal medio anual.

En las **Tablas** del **5.10** al **5.12**, se presenta los caudales medios mensuales generados para los principales ríos y quebradas del ámbito de estudio. Estos valores han sido generados haciendo uso de la Matriz de Variabilidad Representativa y los caudales medios anuales. Los puntos de los ríos donde han sido generados los caudales están representados espacialmente en el **Mapa N° 6**.

RIOS	E	F		Α							N	D
Macuya	26	28	30	32	33	25	15	11	12	16	22	25

Tabla 5.10.- Caudales máximos mensuales (m³/s) – generados.

RIO				Α								
Macuya	19	21	24	26	23	15	10	7	6	8	13	16

Tabla 5.11.- Caudales medios mensuales (m3/s) – generados.

RIO	E	F	М	Α	М	J	J	Α	S	0	N	D
Macuya	13	15	17	18	15	9	6	4	4	5	8	12

Tabla 5.12.- Caudales mínimos mensuales (m3/s) – generados.

5.4.3 Caudales Máximos Diarios

Ante la ausencia de estaciones de medición de caudales de los ríos, se hace uso de modelos de generación de envolventes de máximas descargas. Esta fórmula ha sido desarrollada por el Dr. Wolfang Trau y el Ing. Raúl Gutiérrez Irigoyen (Análisis Regional de las Avenidas en los Ríos del Perú). La aplicación de este método permite la estimación de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno.

La fórmula utilizada en este estudio, corresponde a la Región 7 (Según los autores, existen 7 regiones hidráulicas a nivel nacional).

Qmax (T años) =
$$(a+b) * Log (T) * A ^(m*A^(-n));$$

Donde:

Qmax = Caudal Máximo para período de retorno T, en m³/s.

A = Área de la cuenca, en km².

T = Período de retorno, en años.

a, b = Coeficientes de escala, adimensionales por regiones hidráulicas

m, n = Exponentes adimensionales por regiones hidráulicas

Tomando en cuenta la región y haciendo uso de las constantes respectivas, la fórmula se convierte en:

Qmax (T) =
$$(0.22 + 0.37) * Log (T) * A ^ (1.24 * A ^ (-0.04));$$

La aplicación de estas ecuaciones ha permitido generar los caudales máximos diarios de los principales ríos que comprometen al área de estudio, para los períodos de retorno de 10, 50 y 100 años., tal como se muestran en la **Tabla 5.13.**

Punto de Interés	Área	F	Periodo de Ret	orno (Años)
ruiito de liiteres	(Km²)	10	50	100
Río Macuya	262	101	172	203

Tabla 5.13.- Caudales máximos diarios (m³/s) – generados.



Figura 5.7.- Caudales frecuentes de las quebradas presentes en la zona de estudio.

5.5 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

El objetivo del inventario fue determinar la cantidad y estado actual de los flujos de agua superficial y subterránea; cuyo resultado permitió conocer la situación física y técnica de éstos. La toma de muestras de agua superficial se realizó en las quebradas que vierten a la cuenca del río Macuya que se encuentra dentro del área de estudio, mientras que la evaluación del flujo subterráneo se evaluó en un pozo particular del centro poblado de Macuya.

5.5.1 Inventario de fuentes de agua subterránea

El inventario de las fuentes de agua subterránea (pozos) dentro del área de estudio, fue realizado en el mes de septiembre del 2014, para luego ser analizados en el laboratorio de Servicios Analíticos Generales S.A.C.

La ubicación del pozo se presenta en el mapa de inventario de fuentes de agua superficial y subterráneo y en la siguiente tabla.

CODIGO	Descripción	COORDENADAS UTM WGS84		Cota
		Este (m)	Norte (m)	Cota
SUB-01	Pozo particular del Centro Poblado de Macuya	495467	9012015	204

Tabla 5.14.- Ubicación de fuentes de agua subterránea.



Figura 5.8.- Pozo ubicado en el Centro Poblado de Macuya.

5.5.2 Inventario de fuentes de agua superficial

Como parte del inventario de las fuentes de agua superficial dentro del área de estudio, el cual fue realizado en las quebradas y rio de la cuenca del rio Macuya. En la **Tabla 5.15**, se muestra la ubicación de los puntos de muestreo hidroquímico de agua superficial que formaron parte del inventario de cuerpos de agua superficial.

CODIGO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS UTM WGS84 - ZONA 18 SUR		ALTITUD
		Este (m)	Norte (m)	
AG-01	Quebrada al Sur oeste del área de estudio	491072	9010643	215
AG-02	Rio Macuya	492253	9012500	205
AG-03	Aguas arriba de Quebrada Selva Alegre	491999	9014121	212
AG-04	Quebrada Selva Alegre	491304	9015317	218
AG-05	Quebrada Selva Alegre a 5 km del C.P Corazón de Jesús	489908	9016117	226
AG-06	Aguas abajo de la Quebrada Selva Alegre	489780	9017128	223

Tabla 5.15.- Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial.

Cuerpo de agua		JTM WGS84 - ZONA SUR	ALTURA (m)	DESCRIPCIÓN
	Este (m) Norte (m)			
Qda. S/N 1	492512	9012802	219	Vierte al rio Macuya
Qda. S/N 2	491381	9017335	214	Vierte al rio Macuya
Qda. Selva Alegre	489887	9016592	222	Naciente de la quebrada
Qda. Selva Alegre	495220	9011785	203	Zona centro de la Qda.
Qda. Selva Alegre	492095	9014552	205	Zona centro de la Qda.
Qda. Selva Alegre	492012	9014328	228	Aguas debajo de la Qda.
Qda. Selva Alegre	492094	9014565	227	Aguas debajo de la Qda.
Qda. Shansho	494469	9010821	201	Zona central de la Qda.
Rio Macuya	490825	9015566	223	Centro Poblado Macuya

Tabla 5.16.- Ubicación de los cuerpos de agua identificados.



Figura 5.9.- Quebrada Shansho.



Figura 5.10.- Quebrada s/n 2.



Figura 5.11.- Quebrada s/n 1.



Figura 5.12.- Rio Macuya

CAPITULO VI

HIDROQUÍMICA

El progresivo interés por la calidad del agua, se ha traducido en un conocimiento más profundo de las fuentes y mecanismos de incorporación de sus diversos constituyentes. La composición de las aguas subterráneas puede contemplarse desde distintos tipos de vista: químico, físico, bacteriológico, isotópico y otros. Básicamente nos vamos a centrar en la composición química, entendiendo por ello el conjunto de sustancias (generalmente inorgánicas) incorporadas al agua por procesos naturales. Las sustancias orgánicas incorporadas al agua, aunque son frecuentes, aparecen en concentraciones generalmente menores que las inorgánicas. La incorporación de los constituyentes al agua es debido a su elevado poder disolvente y propiedades de combinación. Esta disolución comienza, incluso mucho antes de que se incorpore al acuífero (al flujo subterráneo).

Gases, aerosoles, polvo y sales diversas, presentes en la atmósfera, reaccionan con el agua marcando el primer esbozo del quimismo del agua que, al precipitarse sobre la superficie del terreno, se infiltrará. La interacción con el suelo (capa edáfica), zona no saturada y el acuífero aportará al agua su contenido iónico. Los iones disueltos en las aguas subterráneas se suelen dividir en mayoritarios, minoritarios y trazas. Los iones mayoritarios son cloruro, bicarbonato, sulfato, calcio, magnesio, sodio y potasio. Eventualmente el nitrato puede ser mayoritario, aunque muy raramente, es de origen natural. Los iones minoritarios son aquellos que se encuentran habitualmente formando menos del 1 % del contenido iónico total. Los más importantes son: bromuro, yoduro, sílice, litio, estroncio, fosfato, nitrito, hierro, manganeso, aluminio, amonio y sulfuro. Los elementos trazas son los que se encuentran en cantidades inferiores y que requieren técnicas muy resolutivas para su determinación; son los metales pesados y otros.

En condiciones alteradas de la composición química de las aguas subterráneas (por contaminación) pueden encontrarse plaguicidas, fenoles, hidrocarburos, detergentes, nitritos, amonio y otros en concentraciones superiores a las que se encuentran en

condiciones naturales. También por condiciones naturales o artificiales en la composición del agua tendremos gases disueltos como el anhídrido carbónico, oxígeno, etc.

Los iones mayoritarios en las aguas subterráneas generalmente son aportados por las rocas por donde estas circulan, en el ambiente acuífero, con las características que a continuación describimos.

En la zona del proyecto se muestreo agua superficial en seis (06) estaciones, mientras que en agua subterránea se muestreo en un (01) pozo particular artesanal. En el mapa N° 8 del **anexo 4** se muestra la ubicación espacial de las estaciones de muestreo hidroquímico, tanto para aguas superficiales y subterráneas.

6.1 LA FÓRMULA DEL AGUA. ISÓTOPOS

Realmente, la fórmula H₂O es una simplificación, ya que existen diferentes tipos de moléculas de agua, según la presencia en ella de los diversos isótopos de oxígeno y del hidrógeno:

Isótopos del hidrógeno:

- H1 (protio): Constituye la mayor parte del hidrógeno natural (99.84 %).
- **H2 (deuterio):** Forma el agua pesada; es estable; pequeñas cantidades.
- H3 (tritio): Pequeñas cantidades, producidas en la atmósfera por radiaciones cósmicas; inestable; radiactivo; se mide en unidades de tritio (UT). En los años 50-60, se produjo una gran cantidad de tritio antrópico debido a las pruebas nucleares; dado que su período de semi-desintegración es 12.7 años, si en una muestra de agua subterránea no encontramos valores de tritio, podemos afirmar que es anterior a 40-50 años. Buen marcador de aguas en zonas donde existen centrales nucleares.

❖ Isótopos del oxígeno:

- **016:** Constituye la mayoría del oxígeno natural (99.76 %).
- **O17: Pequeñas** cantidades.
- *O18:* Es el más abundantes después del O16, aunque su concentración es muy pequeña. Se usa en Paleo-climatología para conocer el origen del agua. Cuando se evapora el agua, el O16 se evapora más fácilmente que el O18 (más pesado), por lo que las aguas irán cambiando su composición según la altura y la ubicación

geográfica. Estas diferencias isotópicas, causadas por las pequeñísimas diferencias de tensión de vapor, movilidad iónica, son de gran interés en Hidrogeoquímica.

6.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

En la siguiente tabla se detallan los principales métodos analíticos utilizados por el laboratorio contratado Servicios Analíticos Generales S.A.C.

ANÁLISIS	METODOLOGÍA	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	UNIDADES
Conductividad (en campo)	SM 2510 B. Conductivity. Laboratory Method.	1.0	μS/cm
Oxígeno Disuelto (OD) (en campo)	SM 4500-O G. Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method. 2012	0.47	O2 mg/L
pH (en campo)	SM 4500-H+ B. pH Value. Electrometric Method.		Unid. pH
Temperatura (En campo)	SM 2550 B. Temperature. Laboratory and Field Methods.		ō C
Aceites y Grasas (HEM)	EPA-821-R-10-001 Method 1664 Rev. B. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGTHEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry. 2010	1	mg/L
Cianuro Libre	SM 4500-CN-J,E. Cyanide. Cyanogen Chloride. Colorimetric Method.	0.017	mg/L
*Clorofila A	SM 10200 H. Plankton. Chlorophyll.	0.004	mg/L
Cromo VI	SM 3500-Cr-B / EPA-SW-846, Method 7196A. Chromiun Hexavalent (Colorimetric). 2012/1992	0.007	mg/L
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)	SM 5210 B. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2	mg / L
Fenoles	EPA-SW-846, Method-9065. Phenolics (Spectrophotometric Manual 4-AAP with distillation). 1986	0.001	mg / L
Fosfatos (PO4 -3)	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.03	PO4 -3 mg / L
Sólidos disueltos totales (TDS)	SM 2540 C. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C.	4	mg/L
Sólidos suspendidos totales (TSS)	SM 2540 D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.	3	mg/L
*Sulfuro de hidrógeno indisociable	SM 4500-S2- H. Sulfide. Calculation of Un-ionized Hydrogen sulfide.	0.002	S-2 mg/L
Nitrógeno Amoniacal	SM 4500-NH3 D. Nitrogen. Ammonia-Selective Electrode Method.	0.02 ++	NH4 +-N mg / L
*Hidrocarburos totales de petróleo (fracción aromática)	EPA 8100, polynuclear Aromatic Hydrocarbons - Rev. 0 -1986		mg/L
Nitratos	SM 4500-NO3 -B. Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method.	0.03	NO3 N mg / L
Nitrógeno total (NTK)	SM 4500-Norg B. Nitrogen (Organic). Macro- Kjeldahl Method.	1	NH4 + -N mg / L
*Silicatos (silice libre)	SM 4500-SiO2 C. Silica. Molybdosilicate Method.	0.02	SiO2 mg/L
	ANÁLISIS DE METALES TOTALES Ó DISUELTOS		
Metales Totales (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn,	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma -	Ver tabla N° 01++	mg/L

ANÁLISIS	METODOLOGÍA	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	UNIDADES
Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, SiO2, Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn) (ICP-OES)	Atomic Emission Spectrometry. 1994		
*Mercurio (Hg)	SAG-120201-Método validado. Arrastre de vapor frío -ICP	0.0001	Hg mg/L
	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y BIOLÓGICOS		
Numeración de Coliformes Fecales	SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	otras aguas: 1.8 ++ agua potable: 1.1 ++	NMP /100mL
Numeración de Coliformes Totales	SM 9221 B. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.	otras aguas: 1.8 ++ agua potable: 1.1 ++	NMP /100mL

Tabla 6.1.- Metodología de análisis (Fuente: Proporcionado por Laboratorio Servicios Analíticos Generales SAC, 2014).

6.3 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Los parámetros físico-químicos más importantes a medir en el Estudio Hidrogeológico del sector de Macuya son:

- Temperatura T (°C): El parámetro más fácil de determinar. Controla la velocidad de reacciones químicas. El valor promedio del Gradiente geotérmico es de 30 °C/Km de profundidad, considerando que se avanza desde la superficie hacia el centro de la esfera terrestre, con un gradiente mayor en zonas volcánicas. Variaciones estacionales permiten utilizar la temperatura como trazador.
- pH: Características ácidas / básicas del agua. Depende mucho de la interacción entre roca y agua. El término pH es una forma de expresar la concentración del ión hidrógeno o, más exactamente, la actividad del hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. En el suministro de aguas es un factor que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión. En las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos. Tanto por estos factores como por las relaciones que existen entre pH, alcalinidad y acidez, es muy importante entender los aspectos teóricos y prácticos del pH.

La disociación iónica del agua se puede presentar por el equilibrio:

$$H_2O = H + + OH -$$

Su constante de disociación será:

$$K_1 = \frac{\left[H^+\right] \left[OH^-\right]}{H_2O}$$

En agua pura la magnitud de su ionización es muy pequeña. Para el equilibrio solamente 10^{-7} moles/l de H⁺ y de OH⁻ están presentes, lo cual permite suponer que la actividad o concentración del agua es esencialmente constante; así la ecuación anteriormente escrita se convierte en:

$$K_{w} = [H^{+}] [OH^{-}] = 10^{-7} \times 10^{-7} = 10^{-14}$$

 K_w es conocida como la constante de ionización del agua y su valor debe satisfacer en cualquier solución acuosa. Por lo tanto, cuando se añade un ácido al agua, éste se ioniza en ella aumentando la concentración de iones H^+ ; consecuentemente, debe disminuir la concentración de ión OH^- para que K_w se mantenga constante. Es evidente, por lo tanto, que en una solución ácida la concentración de ión H^+ es mayor que 10^{-7} moles/l y que en solución de una base la concentración de ión OH^- es mayor que 10^{-7} moles/l. Es importante recordar que en ningún caso la concentración de ión H^+ o de ión OH^- puede reducirse a cero, no importa lo ácida o básica que sea la solución. En la mayoría de los casos es más conveniente expresar la actividad del ión hidrógeno en términos de pH en vez de moles/l.

El pH se define como el logaritmo del inverso de la concentración del ión hidrógeno o sea:

$$pH = \log\left(\frac{1}{|H^+|}\right) = -\log[H^+]$$

Son dos los métodos generales usados para determinar el valor del pH. El método colorimétrico el cual emplea indicadores, substancias que exhiben diferentes colores de acuerdo con el pH de la solución, y el método electrométrico en el cual se mide el potencial de un electrodo sensitivo a pH con referencia a un electrodo estándar.

El pH es el logaritmo inverso de las concentraciones de hidrogeniones, un valor de pH = 7.0 indica una reacción neutra. Es utilizada como índice de la alcalinidad o acidez del agua.

- Potencial Redox (mv): Indica la tendencia a liberar o recibir electrones, si el ambiente es oxidante o reductor para diferentes compuestos, si un compuesto predomina en forma oxidada o reducida. Es frecuentemente el parámetro que más tiempo necesita (hasta ½ h) para estabilizarse durante el bombeo de aguas subterráneas antes de que se puede tomar muestras.
- Conductividad Eléctrica (μS/cm): La conductividad eléctrica es la capacidad del agua para conducir electricidad, se mide como la conductividad que existe entre dos electrodos paralelos de 1 cm² de superficie cada uno y separados 1 cm., situados en el seno del agua a medir de forma que el medio se pueda considerar infinito. La resistividad eléctrica se define análogamente y es el inverso de la conductividad. Es más recomendable el uso de la conductividad ya que crece paralelamente a la salinidad.

Las unidades de conductividad, 1 micro siemens/cm (μ S/cm) o micromhos/cm (μ mhos/cm o $\mu\Omega$ -1/cm); 1 μ S/cm = 10-6 S/cm.

Las unidades de resistividad: 1 ohmio-cm (Ω -cm). En geofísica se emplea el Ω -m=100 Ω .

$$C(\mu S/cm) = \frac{10^6}{\rho(\Omega - cm)}$$

La conductividad crece con la temperatura y es preciso tomar una temperatura de referencia que suele ser 18°C ó 25°C. Crece 2%/°C al aumentar la temperatura. La conductividad crece con el contenido de iones disueltos.

A una misma temperatura, en la conductividad de un agua influye no sólo en la concentración iónica, sino también en el tipo de iones (carga eléctrica, estado de disociación, movilidad, etc.).

En aguas naturales, las variaciones de composición hacen que no exista una relación estrecha entre conductividad y residuo seco o contenido iónico, pero esa correlación es bastante buena para aguas de composición química semejante en cuanto a distribución de aniones y cationes, como por ejemplo las aguas de un mismo acuífero o las que se encuentran en un mismo río.

La conductividad varía entre 100 y 2 000 μ S/cm a 18°C para aguas dulces pudiendo llegar a más de 100 000 con salmueras. El agua de mar tiene alrededor de 45 000 μ S/cm a 18°C.

La conductividad está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada químicamente; aproximadamente el producto de la conductividad en mmhos/cm por 10 es igual a la suma de los cationes en mili equivalentes por litro; en otras palabras, la conductividad en micromhos/cm dividida por 100 es igual al total de los mili equivalentes por litro de los cationes o aniones. La medida de la conductividad constituye un parámetro básico de evaluación de la aptitud del agua para riego. Es directamente proporcional al contenido de sólidos (inorgánicos) disueltos (STD, mg/l).

• Alcalinidad (mg/l): capacidad de neutralizar ácidos mediante HCO₃- (+ CO₃²- + OH⁻)

Parámetros adicionales (de menor importancia) pueden ser:

- Oxígeno disuelto (O₂, mg/l): Presente en aguas con un potencial redox de Eh > 400 mv,
 y es usado sobre todo para aclarar procesos redox y biológicos. O₂ en aguas subterráneas indica aguas recién recargadas o en contacto con aguas superficiales, falta de materia orgánica y en general una buena calidad.
- Turbidez (ntu): Indica la falta de transparencia del líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión y es así proporcional al contenido de sólidos totales suspendidos (STS, mg/l) analizados en el laboratorio. Aguas turbias (sucias) no son necesariamente de menor calidad, si la turbidez es causada por partículas orgánicas (taninos y sustancias húmicas) que apenas afectan la calidad como agua potable.

De todos los parámetros físico-químicos antes mencionados se procedió a la toma de muestras con un Ph-metro en todos los puntos de muestreo del área de estudio, obteniendo los siguientes parámetros que se describen en la siguiente tabla.

ID	Fuente de Agua		AS WGS 84 – A 18S	pH (medición en campo)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Temperatura (medición en Campo) (°C)	Solidos Disueltos Totales (TDS) (mg/L)
AG-01	Superficial	491072 E	9010643 N	7.72	-	24.8	198
AG-02	Superficial	492253 E	9012500 N	8.06	-	24.5	344
AG-03	Superficial	491999 E	9014121 N	8.04	-	25.3	356
AG-04	Superficial	491304 E	9015317 N	8.15	-	27	386
AG-05	Superficial	489908 E	9016117 N	8.26	-	28.4	271
AG-06	Superficial	489780 E	9017128 N	8.18	-	28.9	334
SUB-01	Subterránea	495467 E	9012015 N	6.05	119	-	112

Tabla 6.2.- Parámetros fisicoquímicos de las estaciones de muestreo hidroquímico.

6.4 TIPOS DE AGUAS

Se puede clasificar las aguas mencionando solamente el más importante catión y anión, ejemplo Ca-SO₄, o mencionando los iones que superan cierto porcentaje. Lo más habitual es caracterizar el tipo de aguas mediante los iones que superan el 10 % (eq). La nomenclatura empieza con el catión más importante, ordenando los siguientes cationes según su decreciente porcentaje y continuando igual con los aniones.

El Al (Aluminio) y Fe (Hierro) a veces superan el 10 % c(eq) en aguas con pH < 4.5, debido a la previa oxidación de sulfuros de metales y la elevada solubilidad de metales en esas aguas ácidas.

6.4.1 Química de aguas subterráneas

En la industria petrolera se investiga 3 sistemas geoquímicos, el antes, durante y después de las actividades humanas:

a) Química (Inorgánica) de Aguas Naturales:

La composición química de las precipitaciones es más o menos homogénea, excepto en pocos casos de extrema contaminación atmosférica.

Tras la infiltración del agua en el subsuelo, su composición química depende de la disolución de minerales y el intercambio de iones con el suelo y las rocas con las cuales tiene contacto durante su transporte. En la zona no saturada aumenta el PCO2 que - tras la recarga de las aguas subterráneas - controla muchas reacciones entre agua y rocas de los acuíferos.

Mientras mayor tiempo permanecen las aguas subterráneas en el subsuelo mayores cambios existirán en su composición química.

b) Química de Aguas Influenciados y Contaminados por las Actividades Humanas

Las actividades humanas, muestran también un impacto en las características químicas de las aguas todo esto debido a diferentes tipos de contaminantes como hidrocarburos, disolventes, compuestos de nitrógeno, coliformes totales y fecales.

Los contaminantes más comunes son:

- Metales pesados (DAR: oxidación de sulfuros → acidificación de aguas → disolución de metales).
- Compuestos de cianuro de la lixiviación.
- Compuestos de nitrógeno (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻) de explosivos residuales y efluentes sépticos.
- Hidrocarburos de almacenes de combustibles y accidentes.
- Disolventes de almacenes.
- Coliformes totales y fecales.

Cuando se investiga la calidad de aguas, es sobre todo para saber si la composición química es apta para diferentes usos, por ejemplo: consumo humano, consumo animal, regadío de vegetales, áreas de preservación de fauna y flora. Los límites permisibles para diferentes usos están ampliamente descritos en las pautas de DIGESA. Para aguas potables es preferible usar las normas internacionales de la OMS (WHO drinking water guidelines) o USEPA (US Environmental Protection Agency).

La composición química e isotópica del agua se usa para determinar origen y génesis de diferentes aguas y de sus ingredientes disueltos, para analizar flujos, transporte y mezclas de aguas e ingredientes y para analizar reacciones químicas bajo diferentes condiciones ambientales.

Se puede derivar que unidades geológicas e hidrológicas influenciaron al agua, el tiempo medio de residencia en los acuíferos y que contaminantes disminuyeron su calidad.

Durante el flujo de las aguas subterráneas aumenta la concentración de iones disueltos y así la conductividad eléctrica. La composición química tiende a evolucionar hacia la de aguas marinas. Las especies dominantes de aniones cambian de forma característica:

$$HCO_3^-$$
à $HCO_3^- + SO_4^{2-}$ à $SO_4^{2-} + HCO_3^-$ à $SO_4^{2-} + Cl^-$ à $Cl^- + SO_4^{2-}$ à Cl^- .

De ello resulta, que más tiempo permanecieron las aguas subterráneas en el subsuelo, por ello son más salinas.

ROCA	COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
Areniscas	Baja salinidad (300-500 mg/l); HCO_3 anión dominante; Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} en concentraciones similares; buen sabor.
Caliza	Baja salinidad (500-800 mg/l); HCO3 - anión dominante; Ca ²⁺ , catión dominante; buen sabor.
Dolomita	Baja salinidad (500-800 mg/l); HCO ₃ anión dominante; Mg ²⁺ igual Ca ²⁺ ; buen sabor.
Granito	Muy baja salinidad (300 mg/l) HCO ₃ - anión dominante; Ca ²⁺ y Na ⁺ cationes dominantes; muy

ROCA	COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
	buen sabor.
Basalto	Baja salinidad (400 mg/l) HCO3- anión dominante; Ca^{2+} y Na^+ , Mg^{2+} igualmente importante; muy buen sabor.
Esquisto	Baja salinidad (300 mg/l) HCO_3^- anión dominante; Ca^{2+} y Na^+ cationes dominantes; pobre sabor pero potable.
Marga	Media salinidad (1200 mg/l); HCO_3^- y Cl^- aniones dominantes; Na^+ y Ca^{2+} cationes dominantes; pobre sabor pero potable
Arcilla y Cieno	Contiene frecuentemente sal y yeso de roca. Alta salinidad (900 - 2000 mg/l); Cl- anión dominante, seguido por SO_4^{2-} ; Na^+ catión dominante; pobre sabor, a veces no potable.
Yeso/Anhidri ta	Alta salinidad (2000 - 4000 mg/l); SO_4^{2-} anión dominante; Ca^{2+} catión dominante, seguido por Mg^{2+} o Na^+ ; acre, no potable.

Tabla 6.3.- Composición de las aguas subterráneas, según su litología (Fuente: Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology; Emanuel Mazor, 2004).

6.5 REPRESENTACIÓN GRÁFICA

La representación gráfica de los resultados de la hidroquímica, nos provee de información sobre la distribución de los elementos y su evolución espacial y temporal en el sistema hídrico, ayuda a caracterizar los acuíferos y definir problemas ambientales y planear la remediación. El conocimiento de los procesos que ocurren en los ambientes acuáticos es fundamental para caracterizar y planear el manejo del recurso y en particular, para planear su aprovechamiento o su remediación.

El presente estudio realiza un análisis detallado de los resultados de la hidroquímica haciendo uso de los diferentes programas especializados como: RockWorks/14 v.2009.2.5, se describirá los resultados de los diagramas de Piper.

6.5.1 Diagrama de Piper

El gráfico trilinear de Piper da información caracterizando las aguas por los porcentajes mili equivalentes de los iones mayoritarios (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ y SO₄²⁻). El diagrama fue elaborado en RockWorks 15, permite ver similitudes y diferencias. Se puede delimitar las aguas según sus composiciones y así distinguir los diversos tipos de agua de diferentes unidades geológicas e hidrológicas.

En la trayectoria de las aguas se puede observar la evolución química y así clarificar tendencias y relaciones entre muestras. Entre grupos de aguas se reconocen mezclas alineadas entre los 2 componentes iníciales o se puede reconocer la precipitación o disolución de alguna sal por el desplazamiento de muestras.

Para comprender la familia química según el diagrama de Piper lo realizamos mediante la siguiente numeración en su respectivo triangulo de identificación:

- 1. Aguas sulfatadas y/o cloruradas, cálcicas y/o magnésicas.
- 2. Aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.
- 3. Aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas.
- 4. Aguas bicarbonatadas sódicas
- 5. Aguas magnésicas.
- 6. Aguas cálcicas.
- 7. Aguas sódicas.
- 8. Aguas magnésicas, cálcicas y sódicas.
- 9. Aguas sulfatadas.
- 10. Aguas bicarbonatadas.
- 11. Aguas cloruradas.
- 12. Aguas sulfatadas, bicarbonatadas y cloruradas.

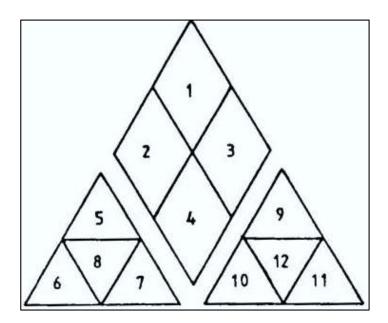


Figura 6.1.- Clasificación de las aguas en el diagrama de Piper.

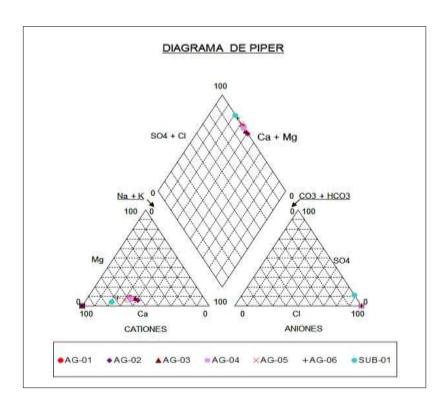


Figura 6.2.- Diagrama de Piper y resultados de las estaciones de muestreo.

Según el diagrama de Piper, las aguas a la fecha monitoreadas en la zona de estudio correspondiente al sector de Macuya, son de tipo Aguas sulfatadas y/o cloruradas, cálcicas y/o magnésicas y Aguas cálcicas.

6.6 COMPARACIÓN CON LAS NORMAS NACIONALES

La normatividad legal peruana en materia de calidad ambiental distingue dos instrumentos complementarios, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la Decreto Supremo N° 037-2008-PCM, sub sector hidrocarburos.

Asimismo en este capítulo se realiza una descripción de las condiciones actuales encontradas en el área de estudio, las que se comparan con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (Decreto Supremo 002-2008-MINAM).

Los ECA establecen parámetros de concentraciones de elementos o sustancias que puede contener el agua sin afectar la calidad del recurso para determinados usos específicos como son: a) Poblacional y Recreacional b) Aguas para actividades marino costeras c) Aguas para riego de vegetales y bebida de animales y d) Aguas para la conservación del ambiente acuático. Por su parte, los Límites Máximos Permisibles (LMP) son los valores límite

aplicables para las descargas al ambiente, en particular el vertimiento de efluentes líquidos y las emisiones de gases y partículas a la atmósfera.

Los muestreos en campo fueron realizados en septiembre del 2014, en seis (06) estaciones de muestreo de agua superficial y en una (01) estación de agua subterránea, Asimismo se presenta el análisis de los resultados de laboratorio respecto al ECA correspondiente, que serán la base para el desarrollo de este capítulo.

6.6.1 Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Mediante el Decreto Supremo Nº 002-2008-MINAM, el ministerio del ambiente, aprobó los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el agua; estableciéndose que ellos son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Los cuerpos de agua en general terrestre o marítimo, son clasificados por la Autoridad Nacional del Agua teniendo en cuenta la calidad y cantidad, consideraciones hidrográficas y necesidades de poblaciones locales por la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA y de acuerdo su Anexo 1 de clasificación de cuerpos de agua superficiales.

	ESTANDA	RES NACIONALES DE	CALIDAD AMBIENTA	AL PARA AGUA			
	С	ATEGORÍA 1: POBLA	CIONAL Y RECREACION	ONAL			
		Aguas Superficia	ales destinadas a la p	roducción de agua	Aguas superficiales destinadas para recreación		
		A1	A2	А3	B1	B2	
PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto primario	Contacto secundario	
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	
FÍSICOS Y QUÍMICOS							
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1	1	Ausencia de película visible	**	
Cianuro libre	mg/L	0.005	0.022	0.022	0.022	0.022	
Cianuro Wad	mg/L	0.08	0.08	0.08	0.08	**	
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**	
Color	Color Verdadero escala pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal	
Conductividad	us/cm	1500	1600	**	**	**	
D.B.0.5	mg/L	3	5	10	5	10	
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50	
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**	
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.5	0.5	na	0.5	Ausencia de espuma persistente	
Fenoles	mg/L	0 003	0.01	0.1	**	**	
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**	
Fósforo Total	mg/L P	0.1	0.15	0.15	**	**	
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material	Ausencia de	

	C	ATEGORÍA 1: POBLA	CIONAL Y RECREACION	ONAL		
	Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable					
		A1	A2	A3	B1	B2
PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto primario	Contacto secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
					flotante	material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno Amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 6	>= 5	>= 4	>= 5	>= 4
рН	Unidad de pH	6.5 -8.5	5.5 -9.0	5.5 -9.0	6-9 (2.5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0.05	**	**	0.05	**
Turbiedad	UNT (b)	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	**
Antimonio	mg/L	0.006	0.006	0.006	0.006	**
Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0.05	0.01	**
Bario	mg/L	0.7	0.7	1	0.7	**
Berilio	mg/L	0.004	0.04	0.04	0.04	**
Boro	mg/L	0.5	0.5	0.75	0.5	**
Cadmio	mg/L	0.003	0.003	0.01	0.01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	**
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	**
Hierro	mg/L	0.3	1	1	03	**
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.5	01	**
Mercurio	mg/L	0.001	0.002	0.002	0.001	**
Níquel	mg/L	0.02	0.025	0.025	0.02	**
Plata	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.01	0 05
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.01	**
Selenio	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.01	**
Uranio	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0 02
Vanadio	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1	01
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
MICROBIOLÓGICO	IIIg/L	3	3	3	3	
Coliformes		0	2000	20000	200	1000
Termotolerantes (44.5 °C) Coliformes Totales (35-37 °C)	NMP/100ml	50	3000	50000	1000	4000
Enterococos Fecales	NMP/100ml	0	0		200	**
Escherichia coli	NMP/100ml	0	0			
Formas Parasitarias		0	0		Ausencia 0	Ausencia
	Organismo/Litro			A		A
Giardia duodenalis	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Salmonella	Presencia/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia Ausencia	0 Ausencia	0 Ausencia

Tabla 6.4.- Parámetros del Estándares de calidad ambiental para agua — Categoría 1:A2** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente UNT (Unidad Nefelométrica Turbiedad) determine.

CATEGORÍA 4: RCONSERVAC		ACUÁTICO						
PARÁMETROS PARA RIOS EN SELVA								
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR						
FISICOS Y QUÍMICOS								
Aceites y grasas (HEM)	mg/L	Ausencia de película visible						
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO₅)	mg/L	< 10						
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0.05						
Temperatura (medición en campo)	Celsius							
Oxígeno Disuelto OD (medición en campo)	mg/L	> = 5						
pH (medición en campo)	Unid. pH	6.5 - 8.5						
Sólidos disueltos totales	mg/L	500						
Sólidos suspendidos totales	mg/L	<= 25 - 400						
INORGÁNICOS								
Arsénico (As)	mg/L	0.05						
Bario (Ba)	mg/L	1						
Cadmio (Cd)	mg/L	0.004						
Cianuro libre	mg/L	0.022						
Clorofila A	mg/L	-						
Cobre (Cu)	mg/L	0.02						
Cromo VI	mg/L	0.05						
Fenoles	mg/L	0.001						
Fosfatos Total	mg/L	0.5						
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos totales	mg/L	Ausente						
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0001						
Nitratos	mg/L	10						
Nitrógeno total	mg/L	1.6						
Níquel (Ni)	mg/L	0.025						
Plomo (Pb)	mg/L	0.001						
Silicatos	mg/L	-						
Sulfuro de hidrógeno (indisociable)	mg/L	0.002						
Zinc (Zn)	mg/L	0.3						
MICROBIOLÓGICOS								
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	2000						
Coliformes Totales	NMP/100mL	3000						

Tabla 6.5.- Parámetros del estándar de calidad ambiental para agua − Categoría 4 (Fuente: Decreto Supremo № 002-2008-MINAM).

6.6.2 Resultados de la comparación con los ECA

Debido al uso del agua que le dan los comuneros ó pobladores del sector de Macuya se realiza la comparación con los Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (ECA), En ese sentido se comparará con el ECA Categoría 4 "Conservación del ambiente acuático" para aguas superficiales y para agua subterránea se comparará con el ECA Categoría 1 A2, el cual establece "Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional".

Tipo de Fuente					Agua Superficial – ECA Categoría 4					
Estación de Monitoreo		ECA		AG-01	AG-02	AG-03	AG-04	AG-05	AG-06	SUB-01
Ensayos	Unidades	Categoría 1 A2	ECA Categoría 4				Resultado	s		
Aceites y grasas (HEM)	mg/L	1	Ausencia de película visible	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cianuro libre	mg/L	0.022		<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
*Clorofila A	mg/L			<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	-
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
**Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	5	<10	<2.00	<2.00	<2.00	** <2.00	<2.00	<2.00	<2.0
Fenoles	mg/L	0.01	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
**Fosfatos (PO4-3)	PO4-3 mg/L		0.5	<0.030	<0.030	0.088	** 0.083	<0.030	0.063	-
**Nitratos	NO3 N mg/L	10	10	0.3	0.3	0.148	** 0.067	<0.030	0.049	2.79
Nitrógeno Amoniacal / NH3	NH4+-N mg/L	2		0.097	0.1	<0.020	<0.020	<0.020	0.023	0.051
Nitrógeno total (NTK)	NH4+ -N mg/L		1.6	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	-
*Silice libre/silicatos	SiO2 mg/L			2	3.5	4.5	5	4.5	5	-
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L	1000	500	198	344	356	386	271	334	112
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L		<= 25 - 400	60.5	5.31	3.98	<3.00	18.7	<3.00	-
*Sulfuro de hidrógeno (indisociable)	H2S-2 mg/L		0.002	0.004	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	-
Oxígeno Disuelto OD (medición en campo)	O2 mg/L	>= 5	>=5	5.78	6.19	6.3	6.82	8.03	7.23	5
pH (medición en campo)	Unid. pH	5.5 -9.0	6.5-8.5	7.72	8.06	8.04	8.15	8.26	8.18	6.05
Conductividad (medición de campo)	μS/cm	1600		-	-	-	-	-	-	119
Temperatura (medición en campo)	ō C			24.8	24.5	25.3	27	28.4	28.9	-
**Numeración de Coliformes Fecales(2)	NMP/100mL	2000		23 x 10 ¹	220 x 10 ¹	170	33	14	33	-
**Numeración de Coliformes Totales	NMP/100mL	3000	3000	33 x 10 ¹	130 x 10 ²	49 x 10 ¹	110	170	280	-

Parámetro no medido
Parámetro que excede el ECA Categoría 1 A2
Parámetro que excede el ECA Categoría 4



Tabla 6.6.- Análisis de parámetros fisicoquímicos de calidad de agua superficial y subterránea

Bach. Jannet Vaneza Colquehuanca Quispe

				AGUA SUPERFICIAL – ECA CATEGORÍA 4						AGUA SUBTERRÁNEA ECA CATEGORÍA 1 A2
	PARÁMETROS	ECA Categoría 1	ECA Categoría	AG-01	AG-02	AG-03	AG-04	AG-05	AG-06	SUB-01
Ensayos	Unidades	A2	4				Resu	ultados		
Plata (Ag)	mg/L	0.05		< 0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	< 0.0005
Aluminio (Al)	mg/L	0.2		0.2755	0.05766	0.07104	<0.01	0.1618	0.01181	0.5906
Arsénico (As)	mg/L	0.01	0.05	0.00234	< 0.001	0.00131	0.00266	0.00294	0.00254	<0.001
Boro (B)	mg/L	0.5		0.04184	0.03166	0.02254	0.02316	0.02546	0.01108	< 0.003
Bario (Ba)	mg/L	0.7	1	0.26287	0.27914	0.24977	0.27483	0.29363	0.30566	0.00774
Berilio (Be)	mg/L	0.04		<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.00031
Calcio (Ca)	mg/L			43.54239	67.76639	55.18215	59.87115	67.39739	60.00615	14.99339
Cadmio (Cd)	mg/L	0.003	0.004	<0.0004	<0.0004	< 0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Cerio(Ce)	mg/L			0.00475	<0.002	<0.002	<0.002	0.00395	<0.002	0.00252
Cobalto (Co)	mg/L			< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003	<0.0003	< 0.0003	<0.0003	0.0009
Cromo (Cr)	mg/L	0.05		<0.0004	<0.0004	< 0.0004	<0.0004	0.00054	<0.0004	0.00047
Cobre (Cu)	mg/L	2	0.02	0.00151	0.00212	<0.0004	<0.0004	0.00217	0.00052	0.00386
Hierro(Fe)	mg/L	1		0.3069	0.0395	0.07807	0.05359	0.1415	0.05162	0.2463
Potasio (K)	mg/L			5.05477	4.26357	4.06208	3.61438	2.94517	3.28188	0.49568
Litio (Li)	mg/L			0.00535	0.01179	0.01298	0.01322	0.01323	0.01121	<0.003
Magnesio (Mg)	mg/L			4.284	4.8615	4.90036	4.69596	4.0914	4.38756	0.5316
Manganeso (Mn)	mg/L	0.4		0.136	0.03008	0.0381	0.04681	0.04853	0.03162	0.04258
Molibdeno (Mo)	mg/L			<0.002	<0.002	< 0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Sodio (Na)	mg/L			25.62178	57.39678	41.58889	38.86689	35.56278	22.08789	4.61558
Níquel (Ni)	mg/L	0.025	0.025	<0.0004	<0.0004	< 0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.00093
Fósforo (P)	mg/L			0.38441	0.27821	0.27244	0.25595	0.1947	0.22743	0.02376
Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.001	<0.0004	<0.0004	0.00115	0.00243	0.00137	0.002	0.00146
Antimonio (Sb)	mg/L	0.006		<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Selenio (Se)	mg/L	0.05		< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	<0.003	< 0.003
Sílice (SiO ₂)	mg/L			27.464817	38.962012	44.601123	46.27052	49.9256	50.993692	35.97038358
Estaño (Sn)	mg/L			< 0.001	<0.001	< 0.001	<0.001	0.00151	<0.001	0.0016
Estroncio (Sr)	mg/L			0.38766	0.50937	0.40652	0.40461	0.42191	0.38611	0.00776
Titanio (Ti)	mg/L			0.00232	<0.0002	0.00368	0.00322	0.00511	0.00325	0.00903
Talio (TI)	mg/L			<0.003	<0.003	< 0.003	< 0.003	<0.003	<0.003	< 0.003
Vanadio (V)	mg/L	0.1		0.0013	0.0004	0.00104	0.00069	0.00141	0.00043	0.00039
Zinc (Zn)	mg/L	5	0.3	0.46317	0.49631	0.00785	0.04264	0.05627	<0.003	0.00597
Mercurio (Hg)	mg/L	0.002	0.001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Uranio (U)	mg/L	0.02		////	////	////	////	////	////	<0.007

Parámetro no medido
Parámetro que excede el ECA Categoría 1 A2
Parámetro que excede el ECA Categoría 4

Tabla 6.7.- Análisis de concentración de metales en agua superficial y subterránea.

Bach. Jannet Vaneza Colquehuanca Quispe

6.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.7.1 Agua Superficial

Según los resultados obtenidos, podemos observar que en la concentración de metales, las estaciones AG-01 y AG-02, el Zinc (Zn) excede ligeramente los estándares de calidad para agua ECA Categoría 4. Sin embargo, cabe resaltar que los valores son bajos, y estos no se considerarían contaminantes para riego de vegetales y consumo de animales. Para consumo humano se recomienda la filtración por arena, o carbón activado, los cuales pueden ser en este caso una excelente solución.

Mientras que el resto de parámetros evaluados se encuentran por debajo del Estándar de Calidad Ambiental para agua, lo que quiere decir que los el escurrimiento superficial de las quebradas ubicadas en la cabecera de la sub cuenca del Macuya aún mantiene una buena calidad (Ver anexo 3: panel fotográfico).

6.7.2 Agua Subterránea

En la estación de muestreo SUB-01, se aprecia que la concentración de Aluminio no cumple con los valores de estándar de calidad ambiental Categoría 1 A2, esto podría deberse a las características de composición química del terreno. El aluminio es un componente natural del agua, debido principalmente a causas naturales y litológicas ya que forma parte de la estructura físico-química de las arcillas.

El resto de parámetros evaluados se encuentran por debajo del establecido en el ECA categoría 1:A2, Lo que significa que las aguas subterráneas se encuentran en su estado natural sin presencia de contaminantes, salvo el metal "aluminio" que excede con lo establecido por caudas naturales.

CAPITULO VII

HIDRÁULICA SUBTERRÁNEA

El flujo del agua subterránea es conducido por la gravedad, siguiendo las líneas de flujo, el

recorrido de estas líneas se ve condicionado por las propiedades hidráulicas del subsuelo,

discurriendo preferentemente por los materiales acuíferos, esta mutua relación entre el

sistema de flujo de flujo subterráneo y el marco hidrogeológico correspondiente a toda la

subcuenca del Macuya dependen de la escala considerada, presentándose sistemas de flujo

pequeños en la cabecera de la subcuenca ya que presenta acuíferos someros, también se

presentan sistema de flujos extensos y profundos que atraviesan varios acuíferos o

acuitardo en todo el área de la subcuenca en mención.

En este capítulo se pretende calcular la permeabilidad en la zona de estudio mediante

métodos indirectos geofísicos, correlacionando las resistividades que ofrecen los distintos

estratos de suelo donde se aloja el acuífero, para ello realizamos los cálculos en los estratos

con resistividades que van desde los 23 Ω m hasta los 200 Ω m.

La permeabilidad o conductividad hidráulica es la capacidad de un medio poroso para

permitir el movimiento del agua y que se mide numéricamente por medio del coeficiente

de permeabilidad K o permeabilidad de Darcy.

V=K*i

En donde:

V: Velocidad de flujo

I: Gradiente hidráulico

Se observa que K tiene las unidades de una velocidad, ya que i es un parámetro sin

unidades. Pero este coeficiente mide una propiedad, en términos macroscópicos, como es

el flujo de un fluido a través de un medio poroso, no sólo está condicionado por las

características del medio (porosidad, geometría de los granos, etc.), sino también por

ciertas características propias del fluido mismo como son su peso específico y su viscosidad.

81

Sin embargo el cálculo de este parámetro hidrogeológico para el área de estudio, se realizará por correlaciones geoeléctricas en acuíferos de similares características geológicas como es el caso de estratos franco areno arcilloso, donde se presume está ubicado el estrato saturado.

7.1 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Todo acuífero tiene doble función: (1) Conducir o transmitir agua y (2) Almacenarla, en ese sentido, el acuífero es evaluado por su capacidad de almacenamiento y la aptitud para transmitir agua, siendo por ello importante definir las características hidráulicas; que son determinadas por los parámetros hidráulicos siguientes:

- Transmisividad (T).
- o Permeabilidad o conductividad hidráulica (K).
- o Coeficiente de almacenamiento (s).

La conductividad hidráulica (K) de un material es un parámetro que expresa la facilidad para que el agua circule a su través; es por tanto, el principal parámetro que caracteriza las propiedades hidráulicas de los materiales en el suelo o en el macizo rocoso, y uno de los que registra mayores variaciones en función del tipo de material (ver tablas 7.1 y 7.2), con fines hidrogeológicos. También se le denomina coeficiente de permeabilidad, pero esta denominación puede crear confusión con la permeabilidad intrínseca o específica o simplemente permeabilidad, que es una propiedad física del medio.

	Tipo de roca	m (%)	k (m/día)
Rocas	Granito fresco	0 a 3	10 ⁻⁵
Plutónicas	Granito meteorizado	2 a 10	8.35x10 ⁻¹ a 1.66
	Basaltos densos	0.1 a 1	10 ⁻¹¹ a 10 ⁻⁸
	Basaltos residuales	5	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁸
Rocas	Basaltos fracturados y/o meteorizados	10	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵
volcánicas	Tobas interestratificadas parcialmente zeolitizadas	39	3x10 ⁻⁵
	Tobas estratificadas	40	9.6x10 ⁻³
	Tobas soldadas	14	3x10 ⁻⁴
	Mármol	0.4	14
	Mica esquistos meteorizados	20.6	2.75x10 ⁻²
	Cuarcitas	-	1.60x10 ⁻⁶
Rocas metamórficas	Pizarras	3.4	1.08x10 ⁻⁶
	Gneiss	0.1	-
	Esquistos	3	1.16
	Gneis meteorizados y/o descomprimidos	0.1 a 2	2.50x10 ⁻¹ a 8.34x10 ⁻³
Rocas sedimentarias	Aluviones de río	5 a 25	10 a 500
Nocas sedimentarias	Sedimentos lacustres	15 a 35	0.1 a 100

Tipo de roca	m (%)	k (m/día)
Calcarenitas	20	31.5x10 ⁻³
Calizas recifales	20	6.4x10 ⁻³
Arenas de delta	15 a 40	0.1 a 200

Tabla 7.1. Rangos de porosidad y conductividad hidráulica de rocas (Fuente: Benítez, Año 1972).

En la **Tabla 7.2** se puede observar los valores de conductividad hidráulica para distintos tipos de acuíferos según la composición litológica. El mapeo hidrogeológico y las investigaciones de campo, así como la revisión de data litológica del área de estudio, se ha identificado que el material litológico del acuífero en la zona de estudio, predomina la Arena media, Arena fina y Arena arcillosa, por ello podríamos considerar inicialmente que los valores de permeabilidad tienen un promedio de 20 metros/día.

	TIPOS DE ROCA	DOMÉNICO	SMITH & W	FREEZE	FETTER	SANDERS
Sedimentos	Grava	25 a 2500	100 a 105	100 a 106	10 a 1000	
	Grava con arena					
	Arena gruesa	0,1 a 500		1 a 1000	1 a 100	1 a 100
	Arena media	0,1 a 50	0,01 a 1000			
	Arena fina	0,02 a 20			0,01 a 1	0,01 a 1
edi	Arena arcillosa			0,01 a 100	0,001 a 0,1	0,01 a 1
0,	Silt, loess	10 ⁻⁴ a 2	10 ⁻⁴ a 1	10 ⁻⁴ a 1	0,001 a 0,1	10 ⁻⁴ a 1
	Arcilla	10 ⁻⁶ a 4x10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ a 10 ⁻³		10 ⁻⁶ a 10 ⁻³	10 ⁻⁶ a 10 ⁻³
	Arcilla marina inalterada	10 ⁻⁷ a 2x10 ⁻⁴		10 ⁻¹¹ a 10 ⁻⁷		
	Calizas carstificadas	0,1 a 2000	0,05 a 0,5	0,1 a 1000		0,1 a 107
ias	Calizas, dolomías	10 ⁻⁴ a 0,5	0,001 a 0,5	10 ⁻⁴ a 1		10 ⁻⁴ a 1
ntar	Areniscas	3x10 ⁻⁵ a 0,5	10 ⁻⁵ a 1	10 ⁻⁵ a 1		
ime	Argilitas (siltstone)	10 ⁻⁶ a 0,001				
Rocas Sedimentarias	Pizarras sedimentarias (Shale) intactas	10 ⁻⁸ a 2x10 ⁻⁴	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁸		10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁸
	Pizarras sed.(Shale) fracturadas/alteradas		10 ⁻⁴ a 1			
	Basalto inalterado, sin fracturar		10 ⁻⁶ a 10 ⁻³			10 ⁻⁶ a 10 ⁻³
	Basalto fracturado/ vesicular cuaternario		10 a 1000			0,1 a 106
S	Escorias basálticas		0,001 a 1000			
lina	Basalto permeable	0,03 a 2000		0,02 a 1000		
Rocas cristalinas	Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵		10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵
	Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	0,001 a 25	10 ⁻⁵ a 1	0,0005 a 20		10 ⁻⁵ a 1
	Granito alterado	0,3 a 5				
	Gabro alterado	0,05 a 0,3				

Tabla 7.2.- Valores estimados de la conductividad hidráulica (metros /día) (Fuente: Sanders, 1998, hace una síntesis de los otros autores expresados en la tabla).

7.2 PARÁMETROS DE DAR ZARROUK

Para este estudio, los parámetros de interés han sido la resistencia transversal T y la conductancia longitudinal S ambos definidos por Maillet (1947) y denominados parámetros de Dar Zarrouk.

Los parámetros S y T se determinan a partir de la interpretación de las curvas de sondeo eléctrico vertical obtenidas en el campo y son aditivos, por lo tanto a un conjunto de n capas le corresponde la suma de sus parámetros individuales. Es decir, S y T se definen, para una secuencia de n capas horizontales, homogéneas e isótropas de grosor h_i y resistividad eléctrica ρ_i tal como se indica en la **Figura 7.1.**

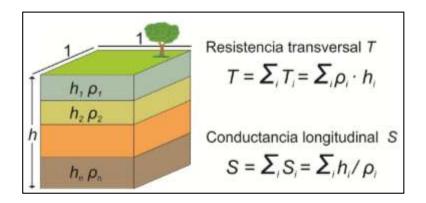


Figura 7.1.-Parámetros de Dar zarrouk (Fuente: International Journal of Earth Scinces and Engineering, 2012).

a) Resistencia transversal "T" (Ω m2)

Son útiles para la interpretación de zonas con materiales detríticos óptimos para la captación de aguas subterráneas.

En las zonas de mayor transmisividad existirá, por lo tanto, detritos más gruesos con mayor permeabilidad, como las arenas o rocas de tamaño de grano mayor. En la siguiente figura se muestra las isolíneas de la resistencia transversal que caracterizan a la zona de estudio, donde al sur del Centro Poblado de Macuya se presentan valores de resistencia transversal altos (3162.171 ohm*m²), mientras que al este y noreste del área de estudio se presentan valores intermedios (1400 ohm*m²), y los valores más bajos se presenta al oeste y centro del área de estudio (73.905 ohm*m²), lo que indica la presencia de depósitos aluviales de tamaño de grano finos a medio y depósitos cuaternarios.

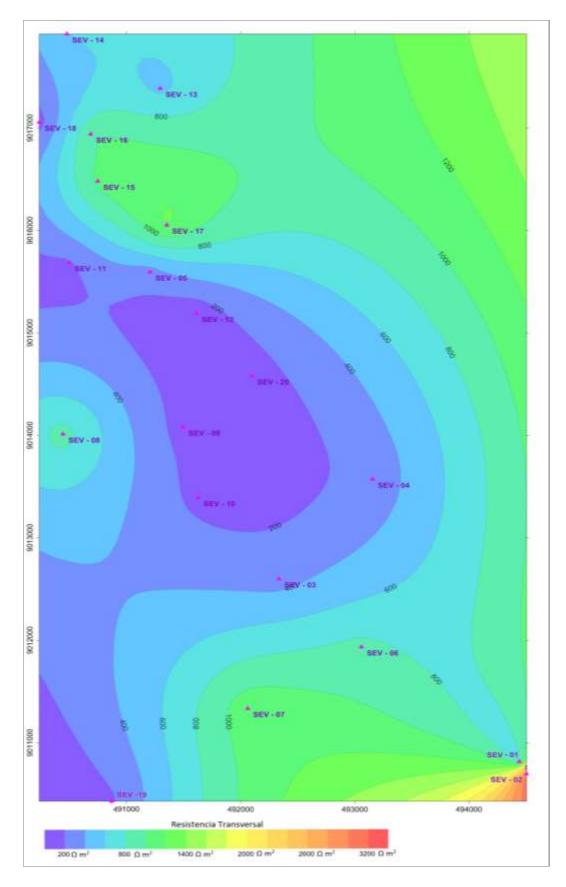


Figura 7.2.- Resistencia transversal del área de estudio.

b) Conductancia Longitudinal "s" (mhos)

Permite discernir las zonas donde la profundidad del sustrato es máxima o mínima, la presencia de fallas o cambios laterales de facies, que corresponderán a zonas estrechas de cambio rápido de conductancia longitudinal.

En las zonas de mayor conductividad existirán en conjunto, ya que se estudia la sumatoria de la conductividad por el espesor de cada uno de los estratos que llega a alcanzar un SEV, materiales con menor tamaño de grano, que pueden estar vinculados a rocas detríticas como la arcilla. En la siguiente figura se muestra las isolíneas de la Conductancia Longitudinal que caracterizan a la zona de estudio.

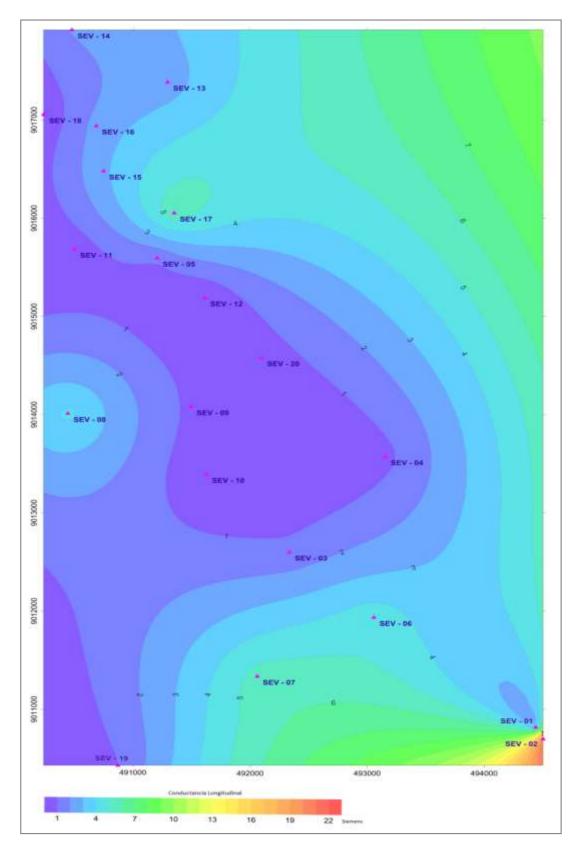


Figura 7.3.- Conductancia longitudinal del área de estudio.

7.3 CORRELACIÓN DE PARÁMETROS GEOELÉCTRICOS E HIDRÁULICOS

Cuando grandes volúmenes de tierra están cubiertos, los métodos geoeléctricos de superficie ofrecen un enfoque alternativo para la estimación de características hidráulicas a escala de un acuífero.

La corriente eléctrica sigue el camino hacia los puntos de menor resistencia dentro y alrededor de los poros, el modo de conducción de la electricidad es iónica y por lo tanto la resistividad del medio se controla más por su porosidad y la conductividad del agua que contiene, que por la resistividad de la matriz de la roca.

Por lo tanto, en el nivel de poros, la trayectoria eléctrica es similar a la trayectoria hidráulica y la resistividad debería reflejar la conductividad hidráulica (Sri Niwas y Singhal, 1985).

7.3.1 Relación entre la resistividad (p) y la conductividad hidráulica (k)

La **Figura 7.4** muestra la relación entre la resistividad (ohm) y la conductividad hidráulica (K). Como se muestra en este gráfico, existe una relación lineal entre las dos variables.

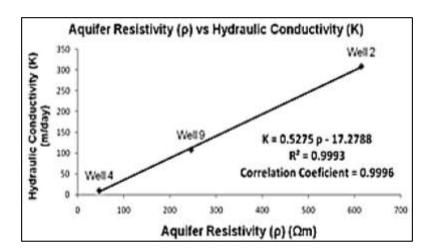


Figura 7.4.- Grafico de resistividad v/s conductividad hidráulica (Fuente: International Journal of Earth Scinces and Engineering, 2012).

La relación seria:

$$K = 0.5275 (\rho) - 17.2788$$

7.3.2 Relación de la resistencia transversal (TR) y transmisividad del acuífero (T)

La **Figura 7.5** muestra la resistencia transversal v/s la transmisividad también muestra una relación lineal, la ecuación para calcular la transitividad del acuífero es:

T = 0.59 Tr - 58.7296

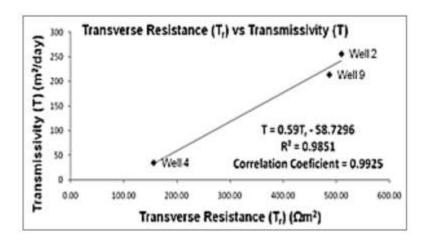


Figura 7.5.- Gráfico de resistencia transversal v/s transmisividad del acuífero (Fuente: International Journal of Earth Sciences and Engineering, 2012).

Cabe resaltar que este tipo de correlación es válida, debido a que las fórmulas matemáticas utilizadas para el cálculo de la conductividad hidráulica y transmisividad, provienen de ensayos geofísicos SEVs y posteriormente calibradas con data hidrodinámica hecha en perforaciones; todo ello desarrollado en condiciones no confinadas y litología de tipo intergranular de arena, grava y gravilla con intercalaciones de arcillas, semejante a la litología en la zona de estudio.

En la **tabla 7.3** se presenta los resultados de los parámetros hidrogeológicos, Conductividad Hidráulica y Transmisividad, obtenidos indirectamente mediante las formulas empíricas ya descritas líneas arriba.

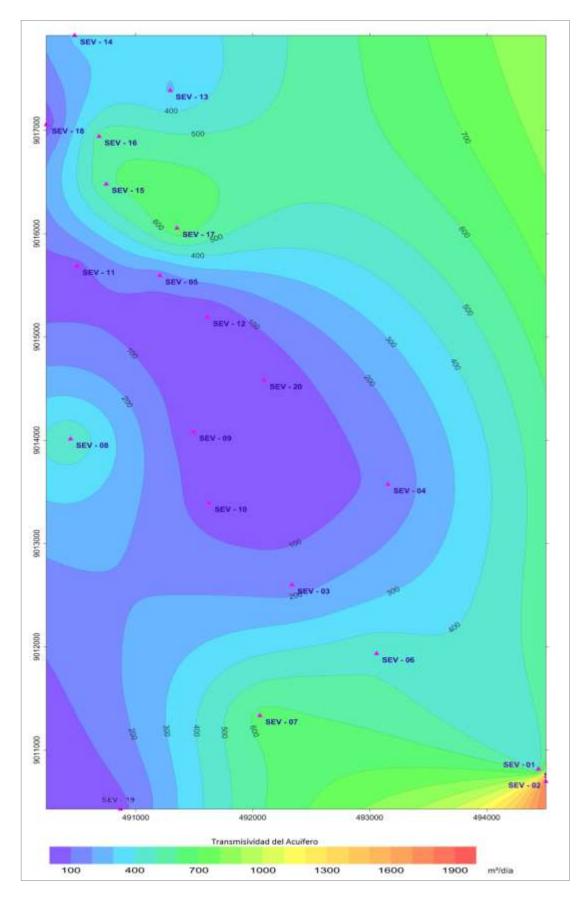


Figura 7.6.- Transmisividad del Acuífero.

ID	SEV	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITÚD (msnm)	NIVEL FREATICO (m)	HIDROISOHIPSA (msnm)	ESPESOR DE ESTRATO SATURADO (m)	RESISTIVIDAD DEL ESTRATO SATURADO (Ohm-m)	CONDUCTIVIDA D HIDRÁULICA (m/día)	TRANSMISIVIDA D (m²/día)	RESISTENCIA TRANSVERSAL (Ωm2)	CONDUCTANCIA LONGITUDINAL (Siemens)
1	SEV - 01	494440	9010818	203	2.20	200.80	49.1	17.6	7.986	392.11	723.33	2.34
2	SEV - 02	494503	9010698	232	9.30	222.70	169	12.2	10.835	1831.03	3162.17	21.25
3	SEV - 03	492334	9012601	225	19.93	205.07	17.2	15.8	8.936	153.69	319.22	1.28
4	SEV - 04	493154	9013573	254	8.30	245.70	18.30	19.50	6.98	127.80	275.34	0.72
5	SEV - 05	491205	9015595	259	9.76	249.24	17.50	16.60	8.51	148.99	311.25	1.13
6	SEV - 06	493057	9011936	226	5.96	220.04	46.57	13.65	10.07	469.07	853.76	4.59
7	SEV - 07	492060	9011336	277	6.43	270.57	65.30	14.40	9.67	631.71	1129.43	5.45
8	SEV - 08	490442	9014013	241	6.01	234.99	50.20	14.40	9.67	485.64	881.84	4.25
9	SEV - 09	491494	9014082	238	2.02	235.98	3.58	12.40	10.73	38.41	123.83	0.81
10	SEV - 10	491626	9013393	245	28.83	216.17	29.40	36.00	1.72	50.57	144.44	0.11
11	SEV - 11	490498	9015686	240	12.29	227.71	11.00	21.20	6.09	66.96	172.22	0.38
12	SEV - 12	491612	9015191	253	1.95	251.05	2.06	24.50	4.35	8.95	73.91	0.12
13	SEV - 13	491294	9017386	232	3.76	228.24	30.60	14.90	9.41	287.95	546.79	2.46
14	SEV - 14	490476	9017918	248	25.00	223.00	38.60	17.00	8.30	320.48	601.91	2.08
15	SEV - 15	490747	9016481	234	8.66	225.34	82.56	19.31	7.08	584.85	1050.01	2.82
16	SEV - 16	490685	9016941	257	7.61	249.39	84.20	20.48	6.47	544.73	982.00	2.34
17	SEV - 17	491351	9016054	222	19.04	202.96	72.28	14.64	9.55	690.09	1228.37	5.73
18	SEV - 18	490234	9017056	236	8.49	227.51	7.74	25.90	3.61	27.92	106.06	0.16
19	SEV - 19	490869	9010430	257	4.33	252.67	6.07	13.20	10.31	62.56	164.77	0.95
20	SEV - 20	492097	9014581	209	2.01	206.99	3.73	14.10	9.83	36.67	120.89	0.61

Tabla 7.3.- Resultados de la correlación de parámetros geoeléctricos e hidráulicos del área de estudio.

Bach. Jannet Vaneza Colquehuanca Quispe

7.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De los parámetros hidrogeológicos, Conductividad Hidráulica y Transmisividad determinados mediante el método indirecto ya descrito inicialmente, se determinó que los valores de Conductividad Hidráulica del estrato saturado varían en un rango de 1.70 a 10.80 m/día con un valor promedio de 8.00 m/día. Los valores más elevados de conductividad hidráulica se dan en las zonas cercanas al Centro Poblado de Macuya, y los valores más bajos se obtuvieron en la zona central del área de estudio. De forma general el acuífero presente posee una mediana facilidad para dejar pasar el agua a través de él para cada unidad de área transversal a la dirección del flujo.

Los valores de Transmisividad varían en un rango de 9 a 1831 m²/día con valor promedio de 348 m²/día. Los resultados de Transmisividad indican la relación directa entre la conductividad hidráulica y el espesor del estrato saturado; según esto, los espesores varían entre 2 y 169 m. Se concluye que de forma general el acuífero presente en la zona de estudio posee una moderada Transmisividad en el curso del agua.

CAPITULO VIII

HIDROGEOLOGÍA

Este capítulo contiene la descripción de las características hidrogeológicas de la zona de estudio, el cual se encuentra emplazado dentro de la subcuenca del rio Macuya, en la parte central de la amazonia peruana.

El tipo de acuífero presente es relativamente complejo, ya que es de tipo "acuífero libre" y "acuitardo" donde la textura de los materiales (arcillas, arenas, areniscas), hace que no tenga el mismo comportamiento, es decir varíen ciertas características como direcciones de flujo, transmisividad, etc. Donde además el flujo de agua se encuentra en un medio sedimentario, y básicamente está controlado por la topografía, la infiltración, y la recarga del acuífero.

Las características hidrogeológicas del acuífero presente en la zona del sector de Macuya, fueron determinados interpretando los siguientes parámetros: geológico, hidrológico, hidráulico, e hidrogeoquímico, donde además se elaboraron las perfiles hidrogeológicos en base a la información geológica, los ensayos geofísicos y la toma de información de datos in-situ realizados en el ámbito de la zona de estudio.

8.1 GEOMETRÍA DEL RESERVORIO ACUÍFERO

8.1.1 Formas y limites

La morfología subterránea del área a de estudio, es de forma casi regular, si tomamos en cuenta las características geológicas y topográficas de la zona de estudio el cual corresponde a una zona ondulada con colinas desde fuertemente a bajamente disectadas.

De la interpretación de los registros geofísicos y la correlación con la litología, el acuífero presenta las siguientes profundidades reflejadas en la siguiente tabla, las cuales muestran la profundidad del techo y base del acuífero respecto al nivel del suelo en cada uno de los puntos evaluados.

CODIGO	Proyecció	n UTM WGS84 – Zo	na 18 SUR	Techo del acuífero respecto al suelo	Base del Acuífero respecto al suelo	Potencia del Acuífero
	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	(- m)	(- m)	(m)
SEV-1	494440	9010818	203	-2,20	-51,30	49,10
SEV-2	494503	9010698	232	-9,30	-178,30	169,00
SEV-3	492334	9012601	225	-19,93	-37,13	17,20
SEV-4	493154	9013573	254	-8,30	-26,60	18,30
SEV-5	491205	9015595	259	-9,76	-27,26	17,50
SEV-6	493057	9011936	226	-5,96	-52,53	46,57
SEV-7	492060	9011336	277	-6,43	-71,73	65,30
SEV-8	490442	9014013	241	-6,01	-56,21	50,20
SEV-9	491494	9014082	238	-2,02	-5,60	3,58
SEV-10	491626	9013393	245	-28,83	-58,23	29,40
SEV-11	490498	9015686	240	-12,29	-23,29	11,00
SEV-12	491612	9015191	253	-1,95	-4,01	2,06
SEV-13	491294	9017386	232	-3,76	-34,36	30,60
SEV-14	490476	9017918	248	-25,00	-63,60	38,60
SEV-15	490747	9016481	234	-8,66	-91,22	82,56
SEV-16	490685	9016941	257	-7,61	-91,81	84,20
SEV-17	491351	9016054	222	-19,04	-91,32	72,28
SEV-18	490234	9017056	236	-8,49	-16,23	7,74
SEV-19	490869	9010430	257	-4,33	-10,40	6,07
SEV-20	492097	9014581	209	-2,01	-5,74	3,73

Tabla 8.1.- Profundidad al techo y base del acuífero.

8.2 UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS

En la naturaleza existe una amplia gama de formaciones con capacidades muy diversas para almacenar y transmitir agua; desde el punto de vista hidrogeológico, estas formaciones suelen dividirse en cuatro grupos principales:

a) Acuíferos:

Capaces de almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas, materiales calizos, etc.); son formaciones con capacidad de drenaje alta en las que se pueden perforar pozos y sondeos con el fin de satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento, agricultura, industria, ganadería, etc. La zona de estudio presenta las características geológicas de ser un acuífero libre semiconfinado con potencial productivo en las zonas sur suroeste del área de estudio.

b) Acuitardos:

Se presenta en la zona de estudio , esta formación es capaz de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmitirla con dificultad; se suelen denominar con frecuencia formaciones semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas, etc.), y su capacidad de drenaje es media a baja; no son de interés para la obtención de caudales que puedan servir a alguna necesidad hídrica, pero en la naturaleza juegan un papel muy importante como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies.

c) Acuicludos:

Pueden almacenar el agua en grandes cantidades, pero no tienen la capacidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad; el agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas plásticas, limos arcillosos, etc.); se asumen como formaciones impermeables. Esta formación se presenta en el quinto horizonte identificado que conforma el piso del estrato saturado (acuífero).

d) Acuifugo:

Formaciones incapaces de almacenar y de transmitir el agua; están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises, y a veces inclusos calizas muy compactas sin Karstificar; se muestran como impermeables salvo que existan fracturas que puedan permitir flujos. No se presenta en la zona de estudio.

Formaciones	Capacidad de Almacenar	Capacidad de Drenar	Capacidad de Transmitir	Formaciones Características
Acuíferos	Alta	Alta	Alta	Arenas, gravas, calizas.
Acuitardo	Alta	Media/baja	Baja	Limos, arenas limosas y arcillosas.
Acuicludos	Alta	Muy baja	Nula	Arcillas.
Acuifugo	Nula	Nula	Nula	Granitos, Gneises, mármoles.

Tabla 8.2.- Características de las unidades hidrogeológicas (Fuente: Ingeniería Geológica. Luis Gonzales de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo. 2004).

8.3 IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

La unidades hidrogeológicas fueron identificadas ,se basó en los registros geoeléctricos, geología regional, geomorfología, y la información obtenida del INGEMMET, donde se llegó a identificar tres unidades hidrogeológicas locales de similares características, con permeabilidades medias a elevadas y transmisividad moderada.

A continuación una descripción de las tres unidades hidrogeológicas identificadas.

a) Unidad hidrogeológica 1 (UH – 1)

Esta unidad está conformada por un acuífero local discontinuo con permeabilidad media correspondiente a una formación detrítica en general no consolidada por areniscas, lodolitas y arcillas tiene el comportamiento de un acuitardo con valores de conductividad hidráulica que varían de 1 a 5 m/día. Perteneciente a la formación paleógeno –Neógeno continental.

b) Unidad Hidrogeológica 2 (UH – 2)

Esta unidad se compone de materiales sedimentarios semi consolidados, correspondiente al Neógeno mioceno continental el cual es característico de formaciones detríticas permeables conformado por areniscas y lodolitas , tiene el comportamiento de un acuífero libre semiconfinado, geológicamente corresponde a la formación Chambira con límites de la formación Ipururo , el cual presenta un morfología ondulada conformada por colinas bajas , presenta valores de conductividad hidráulica más altas que la anterior unidad entre 6 y 8 m/día.

c) Unidad Hidrogeológica 3 (UH – 3)

Por su edad perteneciente al neógeno, está compuesta por materiales propios de la Formación Ipururo, principalmente, areniscas, areno arcillas que tiene un origen deposicional. Esta tercera unidad hidrogeológica posee conductividades hidráulicas altas con respecto a las anteriores unidades que varían de 9 a 11 m/día.

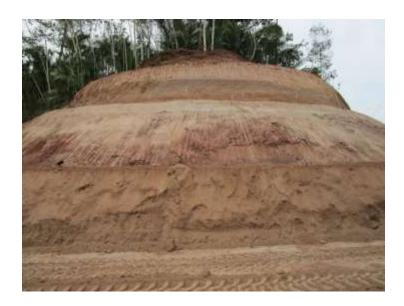


Figura 8.1.- Vista de la composición litológica que sobreyace a la unidad hidrogeológica 1 (UH-1).

Unidad	Formación	Sub-modelo	modelo	tipo de modelo	Símbolo	Tipo Acuífero	Conductivid ad Hidráulica (m/dia)
UH-1	Paleogeno- Neogeno, Continental	Acuíferos locales o discontinuos productivos, o acuíferos extensos pero solo moderadamente productivos (permeabilidad media).	Formaciones detríticas permeables en general no consolidadas	Areniscas, lodolitas, lutitas, arcillas	PN-c	Acuitardo	1 - 5 m/día
UH-2	Neógenos mioceno continental	Acuíferos generalmente extensos, con productividad elevada (permeabilidad elevada).	Formaciones detríticas permeables en general no consolidadas	Areniscas, lodolitas	Nmp-c	Acuífero libre	6 - 8 m/día
UH-3	Neógenos mioceno continental	Acuíferos generalmente extensos, con productividad elevada (permeabilidad baja).	Formación detrítica consolidada	Limo arcillitas, areniscas yesos y conglomer ados	Nmp-c	Acuicludo	9 - 11 m/día

Tabla 8.3.- Unidades hidrogeológicas.

8.4 EL ACUÍFERO

La litología del estrato acuífero del área de estudio está dado por materiales sedimentarios del cenozoico hasta el cuaternario reciente, el cual consta de materiales de origen lacustre, fluviales y aluviales, estructurado por arenas, areniscas, arcilla y lodolitas ; todos estos englobados en una matriz areno arcillosa.

mediante Según el INGEMMET su página web http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/, la característica hidrogeológica de la zona de estudio pertenece a una formación detrítica permeable en general no consolidada, moderadamente productivo, presentando una unidad con permeabilidad media y la otra con permeabilidad elevada., donde se presenta los límites de los dos tipos de acuíferos antes mencionados, sin embargo mediante las investigaciones de campo en base a geofísica, se ha podido determinar tres unidades hidrogeológicas locales en el área de estudio. En el Mapa hidrogeológico se presenta a nivel local las unidades identificadas donde se aprecia los límites de las tres unidades hidrogeológicas, clasificadas acorde a su litología y parámetros hidrogeológicos e hidráulicos.

8.5 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

Atendiendo al comportamiento hidráulico de las formaciones geológicas, así como a su posición estructural en el terreno, se distinguen tres tipos principales de acuíferos:

- Acuíferos libres.
- Acuíferos confinados.
- Acuíferos semiconfinados.

Si la capa confinante que se encuentra en el techo del acuífero inferior fuese acuitardo (en lugar de un acuicludo o Acuifugo), entonces dicho acuífero seria semiconfinado, el cual se encuentra en la zona de estudio como UH-2, ver mapa hidrogeológico para ver su distribución espacial.

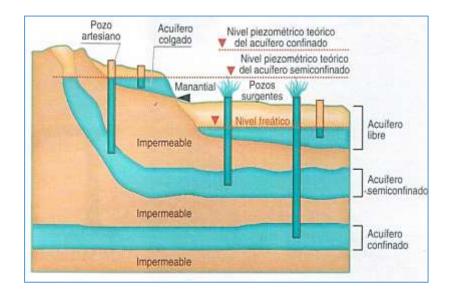


Figura 8.2.- Tipos de acuífero según su funcionamiento hidráulico.

- a) Acuífero Libre: Son aquellos en los que el nivel superior de saturación se encuentra a presión atmosférica, este tipo de acuífero se presenta en la zona de estudio en forma local y discontinua.
- b) Acuífero Confinado: Corresponden a formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos que podemos asumir como impermeables, ya sean acuifugos o acuicludos.
- c) Acuífero Semiconfinado: Corresponden a situaciones similares a las que presentan los acuíferos confinados pero la particularidad de que el estrato confinante corresponde a un acuitardo, en lugar de a un acuifugo o acuicludo. Por lo tanto, los acuíferos semiconfinados pueden recibir una cierta recarga llamada goteo, a través de la capa semipermeable que los confina.

8.6 LA NAPA FREÁTICA

Corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. A menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

Los datos de los niveles freáticos calculados mediante correlación geofísica fueron plasmaros en los perfiles hidrogeológicos que se presentan más adelante.

		Proyección UTM WGS84 – Zona 18 SUR			NIVEL	HIDROISOHIPSA	
ID	CODIGO	Este (m)	Norte (m)	ALTITÚD (msnm)	FREATICO (m)	(msnm)	
1	SEV - 01	494440	9010818	203	2.20	200.80	
2	SEV - 02	494503	9010698	232	9.30	222.70	
3	SEV - 03	492334	9012601	225	19.93	205.07	
4	SEV - 04	493154	9013573	254	8.30	245.70	
5	SEV - 05	491205	9015595	259	9.76	249.24	
6	SEV - 06	493057	9011936	226	5.96	220.04	
7	SEV - 07	492060	9011336	277	6.43	270.57	
8	SEV - 08	490442	9014013	241	6.01	234.99	
9	SEV - 09	491494	9014082	238	2.02	235.98	
10	SEV - 10	491626	9013393	245	28.83	216.17	
11	SEV - 11	490498	9015686	240	12.29	227.71	
12	SEV - 12	491612	9015191	253	1.95	251.05	
13	SEV - 13	491294	9017386	232	3.76	228.24	
14	SEV - 14	490476	9017918	248	25.00	223.00	
15	SEV - 15	490747	9016481	234	8.66	225.34	
16	SEV - 16	490685	9016941	257	7.61	249.39	
17	SEV - 17	491351	9016054	222	19.04	202.96	
18	SEV - 18	490234	9017056	236	8.49	227.51	
19	SEV - 19	490869	9010430	257	4.33	252.67	

		Proyección	UTM WGS84 – Zo	ona 18 SUR	NIVEL	HIDROISOHIPSA
ID	CODIGO	Este (m)	Norte (m)	ALTITÚD (msnm)	FREATICO (m)	(msnm)
20	SEV - 20	492097	9014581	209	2.01	206.99

Tabla 8.4.- Medidas de profundidad de la napa freática en los puntos de evaluación SEV.

En la **Figura 8.3** se aprecia la interpolación y correlación de la profundidad de la napa freática de los sondajes eléctricos en el área de estudio.

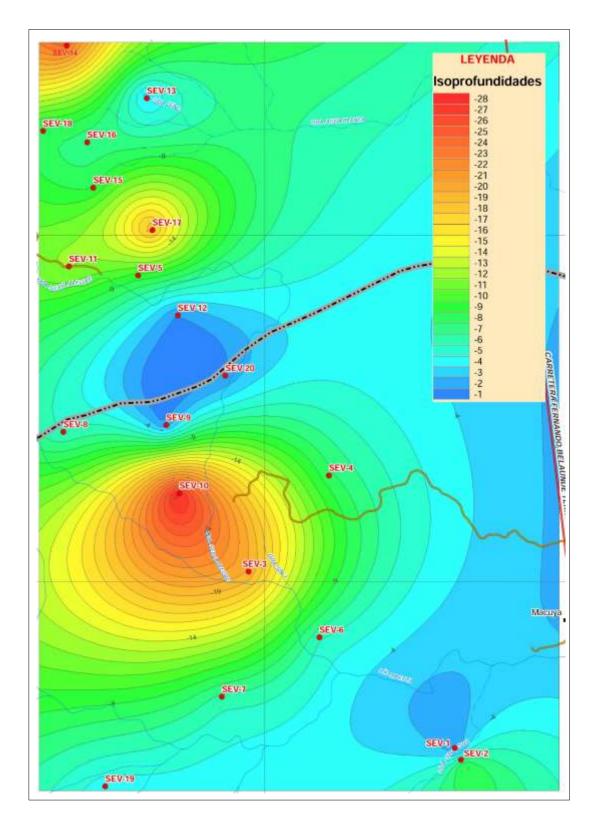


Figura 8.3.- Isoprofundidades al techo de la napa freática.

8.7 MORFOLOGÍA DE LA NAPA

La morfología de la napa freática está establecida a partir del mapa de hidroisohipsas, el cual corresponde a la altitud del nivel freático respecto al nivel del mar; la napa freática

presenta una morfología ondulada con espesores variables desde 3 a 80 metros, solo en un punto de evaluación se registró un espesor de 169 metros, el cual es debido a la saturación de arcillas con presencia de sales propios de material inconsolidado presente a esa profundidad.

En vista que los afloramientos sedimentarios, representados por las capas de areniscas y limolitas que limitan las microcuencas o subcuencas hidrológicas, pueden permitir la circulación del agua subterránea por infiltración en las fracturas y fallas locales existentes; se puede afirmar que no presenta límites impermeables laterales constantes y definidos, ya que los afloramientos de las formaciones sedimentarias, que limitan la cuenca hidrológica, no coinciden necesariamente con los límites de la cuenca hidrogeológica.

8.8 FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO Y DIRECCIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

Las variaciones del nivel freático tienen un comportamiento estacional, es decir, varían de acuerdo a la época del año, elevándose en los meses lluviosos, donde el acuífero aporta a las quebradas del rio Macuya debido a que el nivel freático en estos cuerpos de agua superficial es somero, mientras que en la época de menor precipitación las quebradas de la cuenca hidrográfica del rio Macuya recargan al acuífero discontinuo local de la zona de estudio, presentando así una dirección de flujo predominante de noroeste a sureste, condicionado principalmente por el transporte del agua infiltrada desde las áreas colinosas y ligeramente onduladas, incluyendo las aguas infiltradas desde los ríos y quebradas pertenecientes a la cuenca del rio Macuya , hacia las zonas de afloramientos de los depósitos sedimentarios cercanos; especialmente, en las formaciones de litología arenosa de grano medio a grueso, con un grado de porosidad y permeabilidad moderado.

Con los datos in-situ tomados del pozo particular del Centro Poblado de Macuya, el mismo que presento el nivel freático a 3.00 m aproximadamente, permitió definir y correlacionar el comportamiento del acuífero, donde el gradiente hidráulico del acuífero es mayor al noroeste del área de estudio y disminuye al este del área de estudio, la misma que presenta un acuífero con características hidrogeológicas productivas.

El flujo natural del agua subterránea es una región, que también se esquematiza mediante redes de flujo, y donde la forma de la superficie freática es la que gobierna toda la red.

En la siguiente figura se observa las superficies equipotenciales que podrían existir debajo de una ladera, suponiendo que la distribución de la permeabilidad en el subsuelo fuera isótropa y homogénea.

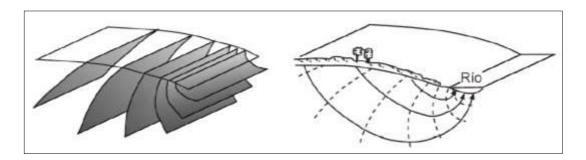


Figura 8.4.- Superficies equipotenciales bajo una ladera y el correspondiente perfil con red de flujo (Fuente: Javier Sánchez San Román-España).

Este tipo de representaciones en tres dimensiones pueden ser didácticas pero imposibles de manejar en casos reales. Se hace necesario utilizar representaciones en dos dimensiones: redes de flujo, frecuentemente en perfiles verticales y mapas de isopiezas.

Una red de flujo es una representación esquemática del flujo en un plano mediante líneas equipotenciales. Las líneas equipotenciales son la traza de las superficies equipotenciales al ser cortadas por el plano en que se dibuja la red de flujo. El flujo siempre es tridimensional, así que las redes de flujo, de dos dimensiones, pueden trazarse en un plano horizontal o en un corte vertical.

En la siguiente figura se aprecia algunos aspectos fundamentales de flujo.

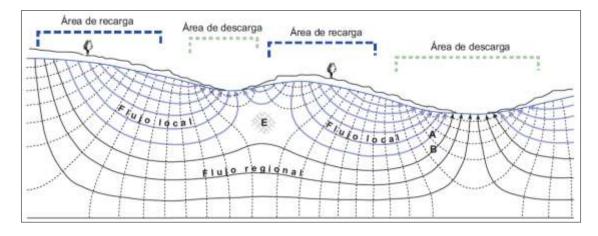


Figura 8.5.- Red de flujo subterraneo (Fuente: Javier Sánchez San Román-España).

8.9 ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA

Las áreas de recarga son aquellas en que el flujo subterráneo presenta una componente vertical descendente, y las áreas de descarga, ascendente. Aunque en este esquema tienen escasa entidad, también existen áreas intermedias en las que el flujo es prácticamente horizontal.

La recarga del acuífero presente, proviene principalmente de las lluvias y de la filtración de las quebradas que tributan al rio Macuya, donde la cantidad de recarga está directamente afectada por la pendiente y el aspecto del terreno; así como, la permeabilidad de la superficie, la cantidad de escorrentía y la evapotranspiración. Bajo estas consideraciones, la recarga total anual no es significativa respecto de la precipitación media anual. Teniendo en cuenta la variabilidad estacional de la recarga, se espera que la mayor proporción de agua infiltrada se produzca durante la estación lluviosa, ya que durante la estación seca los altos índices de evaporación potencial, respecto a la precipitación, determinarían una recarga poco significativa al acuífero.

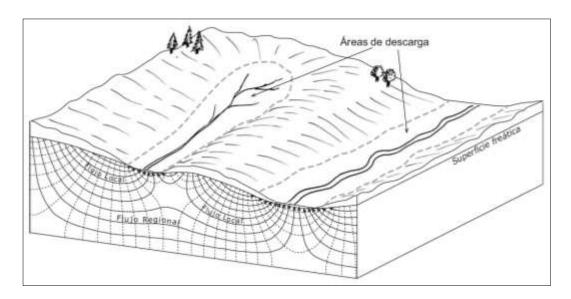


Figura 8.6.- Zonas de descarga de un acuífero (Fuente: Javier Sánchez San Román-España).

En la **Figura 8.7** se muestra un extracto del mapa N° 13, donde se aprecia las zonas de recarga y descarga del acuífero presente en el área de estudio.

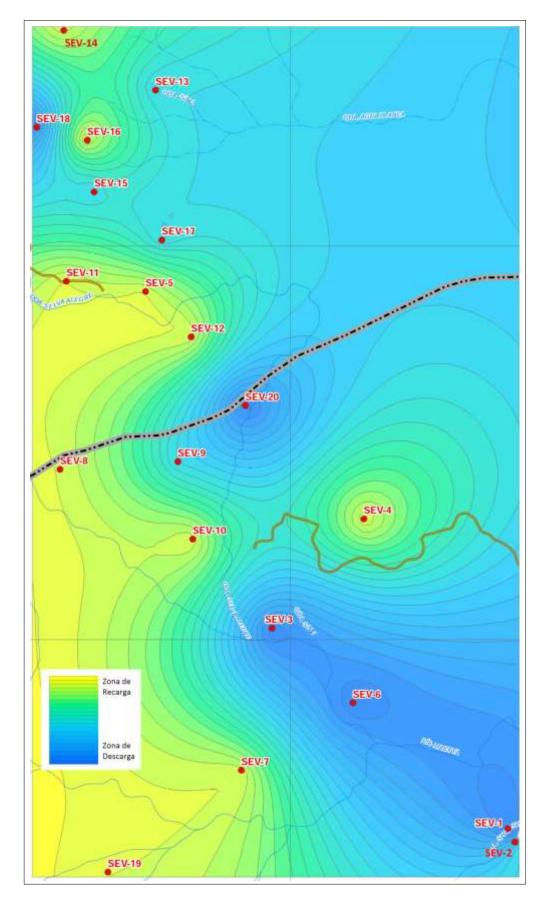


Figura 8.7.- Ubicación de zonas de recarga y descarga del acuífero.

8.10 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Para establecer un modelo conceptual del sistema acuífero hay que repasar los datos disponibles que sean de interés en relación con la topografía, la hidrología, hidrogeología y la hidroquímica, y en muchos casos plantear un programa para conseguir datos adicionales. El modelo se apoya tanto en la interpretación de estos datos como en la impresión visual obtenida en campo.

La zona de estudio se encuentra emplazado en un estrato con características propias de un acuífero semiconfinado - libre, debido a su estructura litológica y su comportamiento hidráulico; ya que es una formación capaz de almacenar agua, drenar y transmitirla con facilidad, según el análisis geofísico; el acuífero se encuentra saturado a partir de los 5 y 10 metros de profundidad, esto debido a las fuertes precipitaciones típicas de un clima cálido húmedo. Seguidamente se presenta la descripción de cada uno de los perfiles hidrogeológicos y las figuras de cada uno de los estratos donde se aprecia los cambios verticales y límites de cada estrato identificado.

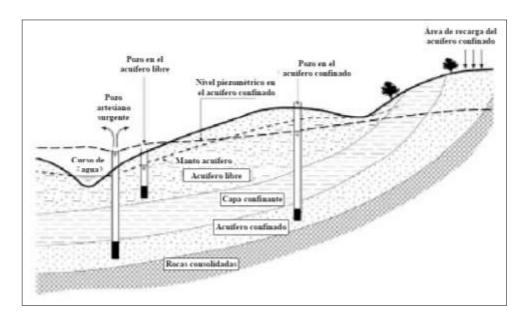


Figura 8.8.- Perfil esquemático de un modelo conceptual.

8.10.1 Perfil hidrogeológico (A-A')

El perfil hidrogeológico A-A' consta de un perfil en dirección NO-SE, con una longitud de 136 m y una profundidad de 200 m aproximadamente. Su trayecto es transversal a la quebrada

Shansho el cual vierte al rio Macuya. Los sondajes eléctricos que ayudaron para su construcción fueron los SEV 01 y SEV 02.

Los estudios geofísicos han determinado la presencia de zonas saturadas, mientras que el mapeo hidrogeológico y el análisis meteorológico determinan una recarga constante al acuífero; por lo que el sentido de flujo estaría en sentido de la pendiente del relieve, el nivel freático se encuentra superficial, por lo que tendría contacto con la quebrada Shansho, este cuerpo de agua carga y descarga al acuífero presente en la zona, esto es muy dependiente de la estacionalidad del año, en época lluviosa dicha quebrada aportaría al acuífero, mientras que en época menos lluviosa o seca el acuífero descargaría a las quebradas que alcance su nivel freático.

El perfil hidrogeológico está conformada desde el techo a la base por cinco (05) unidades y/o estratos con características diferentes, entre estas son:

- El primer estrato es una cobertura compuesta por materiales de cobertura recientes (fluviales) no muy profunda con una potencia máxima de 3 metros.
- El segundo estrato es una capa delgada conformada por material franco arcilloso con una potencia de 3 a 4 metros.
- El tercer estrato es el acuífero semiconfinado libre, compuesto por materiales de origen sedimentario lacustre a fluvial poco coherentes estructurados por arenas, areniscas y materiales finos estructurados por arcillas limosas, esta unidad presenta una potencia entre 50 a 80 m. Sin embargo en SEV 02, presenta una gran potencia, donde se asume que sería debido a la presencia de una capa saturada / húmeda de arcillas.
- El cuarto estrato está conformado por arcillas con presencia de humedad y salinidad en algunas zonas, donde a su vez se puede apreciar que presenta un leve a moderado buzamiento junto al quinto estrato.
- Y el quinto estrato debido a sus altas resistividades está conformado por material compacto consolidado conformado por areniscas y lutitas. Donde a su vez no pudo ser identificado en el SEV 02, pero se asume que continua con el mismo buzamiento del estrato sobreyacente.

8.10.2 Perfil hidrogeológico (B-B')

El perfil hidrogeológica B-B' consta de un perfil en dirección NO-SE, casi paralelo al perfil hidrogeológica A-A', con una longitud de 2044 m y una profundidad de 200 m

aproximadamente. Los sondajes eléctricos que ayudaron para su construcción fueron: SEV 10, SEV 03, SEV 06, así como también los puntos del inventario de agua tomados en campo correspondiente al AG-02 y el curso del rio Macuya.

Donde la descripción hidrogeológica del perfil B-B' es muy similar a la descrita en el perfil hidrogeológica A-A', en cuanto a la identificación de los cinco (05) horizontes con diferentes potencias entre cada unidad. La particularidad de este perfil es que presenta estratos casi horizontales con pendiente muy baja, Debido a su relieve ondulado el nivel freático es variable, presentando un acuífero con una potencia entre 20 y 25 metros.

- El primer estrato es una cobertura compuesta por materiales de cobertura recientes (fluviales) no muy profunda con una potencia máxima de 3 metros. Entre ellos material orgánico producto de la vegetación y los parches de bosque correspondientes al perfil.
- El segundo estrato está conformado por un material franco arcilloso con una potencia de 20 metros aproximadamente.
- El tercer estrato es el acuífero semiconfinado libre, compuesto por materiales de origen sedimentario lacustre a fluvial poco coherentes estructurados por arenas, areniscas y materiales finos estructurados por arcillas limosas, en esta perfil el acuífero presenta una potencia baja entre 20 a 25 m.
- El cuarto estrato está conformado por arcillas con presencia de humedad y salinidad en algunas zonas.
- Y el quinto estrato debido a sus altas resistividades estaría conformado por material compacto consolidado conformado por areniscas y lutitas.

8.10.3 Perfil hidrogeológico (C-C')

Este perfil presenta seis (06) estratos, que corresponden a material reciente asociado a la materia orgánica y cobertura vegetal de los pastizales aledaños a la zona, con una potencia de 1 hasta 2 metros, luego debajo de este estrato aparece material franco arcilloso, la cual es de gran importancia, debido a la saturación que contiene y los materiales que la conforman. Los sondajes eléctricos que ayudaron para su construcción fueron los SEV 08 y SEV 09.

El estrato saturado (H3) presenta una potencia irregular que varía desde los 8m en el SEV 09 a los 30m de espesor en el SEV 08, Asimismo las capas subyacentes correspondientes al

H5 y H6 presentan nuevamente un ligero buzamiento. Luego un tercer estrato de material arcilloso compactado y saturado.

8.10.4 Perfil hidrogeológico (D-D')

Con una orientación de NO a SE, El perfil hidrogeológico presenta una longitud de 1340 metros, y cuatro estratos hidrogeológicos, el primero se trata de materiales recientes cuaternarios de origen fluvial y materia orgánica, los cuales afloran cerca al cauce de las quebradas presentes en la zona. Los sondajes eléctricos que ayudaron para su construcción fueron: SEV 05, SEV 12, SEV 20 y el punto de agua correspondiente al AG-04. Donde el nivel freático fluctúa onduladamente de acuerdo al relieve de la zona.

8.10.5 Perfil hidrogeológico (E-E')

Tiene una orientación SO-NE, presenta también cinco (05) estratos como los descritos en las perfiles anteriores, el nivel freático se encuentra a una profundidad promedio de 14 metros, en ella se observa que la mayor potencia del estrato saturado se encuentra en el SEV 17, Donde la dirección dominante del flujo subterráneo es de SO – NE. Los sondajes eléctricos que ayudaron para su construcción fueron: SEV 11 y SEV 17.

8.10.6 Perfil hidrogeológico (F-F')

Similar a las anteriores, salvo en su longitud; presenta cinco (05) estratos de los cuales aflora en la mayor proporción del área de estudio la Formación Chambira. Hidrogeológicamente tiene muy buenas características para ser considerado un acuífero portante, debido a la naturaleza de su composición. Los sondajes eléctricos que ayudaron para su construcción fueron: SEV 14, SEV 16 y SEV 15, subyaciéndolo una formación sedimentaria con mayor grado de consolidación.

A continuación se presentan los perfiles hidrogeológicos realizados para el área de estudio.

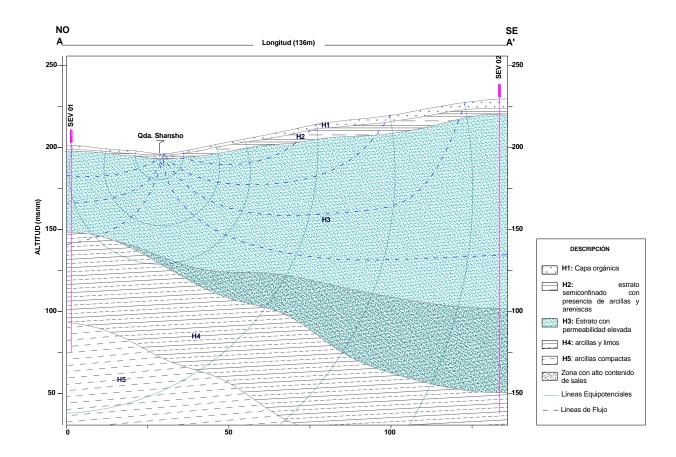


Figura 8.9.- Perfil Hidrogeológico (A-A'), interpretado en base a los resultados del Perfil 01 (Geoeléctrico) y los datos in-situ de campo.

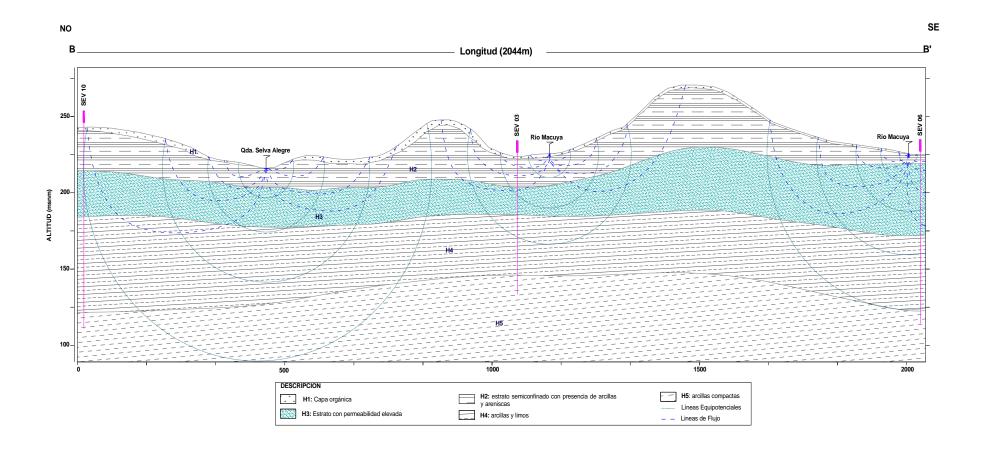


Figura 8.10.- Perfil Hidrogeológico (B-B'), interpretado en base a los resultados del Perfil 02 (Geoeléctrico) y los datos in-situ de campo.

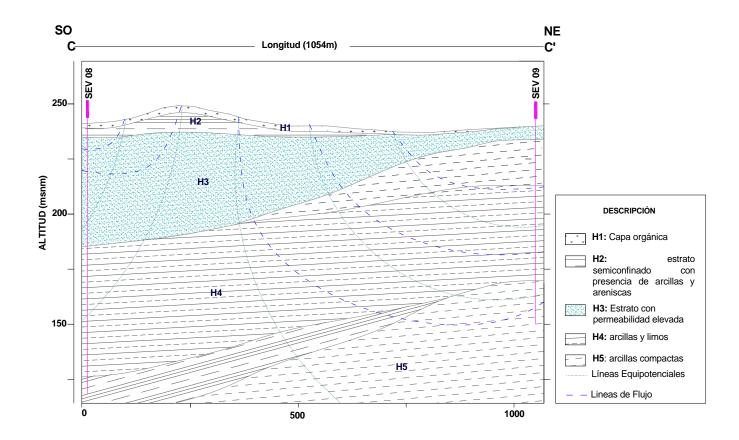


Figura 8.11.- Perfil Hidrogeológico (C-C´), interpretado en base a los resultados del Perfil 03 (Geoeléctrico) y los datos in-situ de campo.

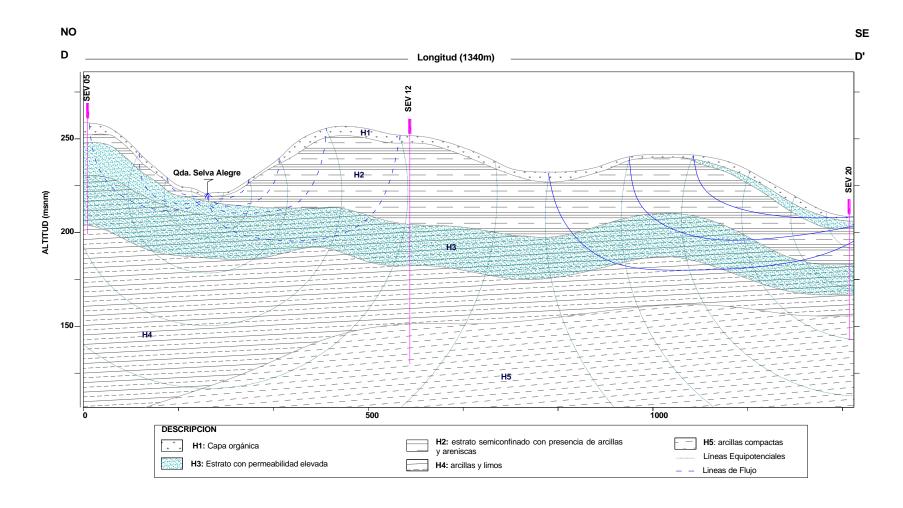


Figura 8.12.- Perfil Hidrogeológico (D-D´), interpretado en base a los resultados del Perfil 04 (Geoeléctrico) y los datos in-situ de campo.

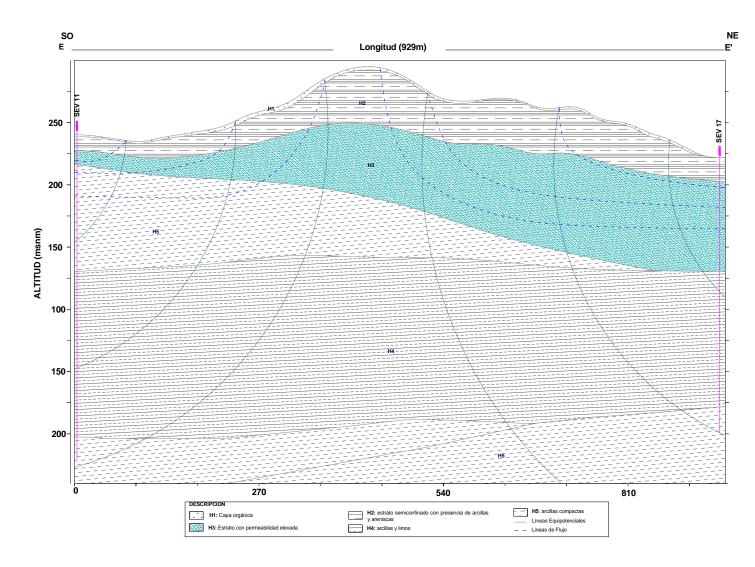


Figura 8.13.- Perfil Hidrogeológico (E-E'), interpretado en base a los resultados del Perfil 05 (Geoeléctrico) y los datos in-situ de campo.

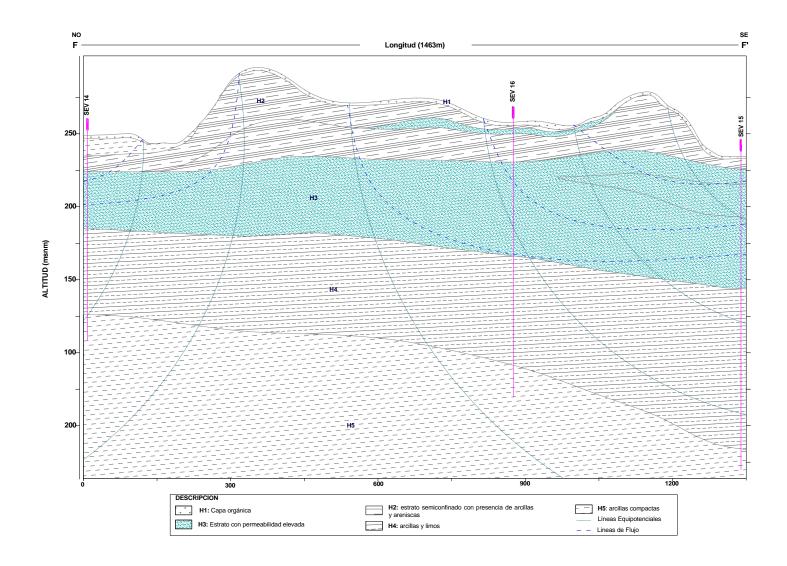


Figura 8.14.- Perfil Hidrogeológico (F-F'), interpretado en base a los resultados del Perfil 06 (Geoeléctrico) y los datos in-situ de campo.

8.11 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL 3D

El modelo hidrogeológico conceptual 3D, se construyó en base a cotas de las primeras capas identificadas, los cuales pasan a ser las divisoras de los estratos ya identificados, así como el nivel freático. Para ello se usó diferente software como el Model Mouse, ModFlow y el Surfer 11, los dos primeros software permitieron discretizar el área de estudio y asignar valores y parámetros para cada celda, mientras que el Surfer permitió modelar los datos discretizados.

El modelo conceptual resume el comportamiento del acuífero y su reacción hidráulica, en ella se puede observar la ubicación del nivel freático y lo cercano que se encuentra a la superficie.

Es necesario aclarar que el presente modelo ha sido realizado con el método probabilístico cuadrático de KRIGING, el cual interpola y asume valores en el área respecto a los registros tomados en campo, este modelamiento está sujeto a una mejor afinación con una buena base topográfica a detalle de la zona. En las siguientes figuras se muestra el modelo hidrogeológico conceptual 3D.

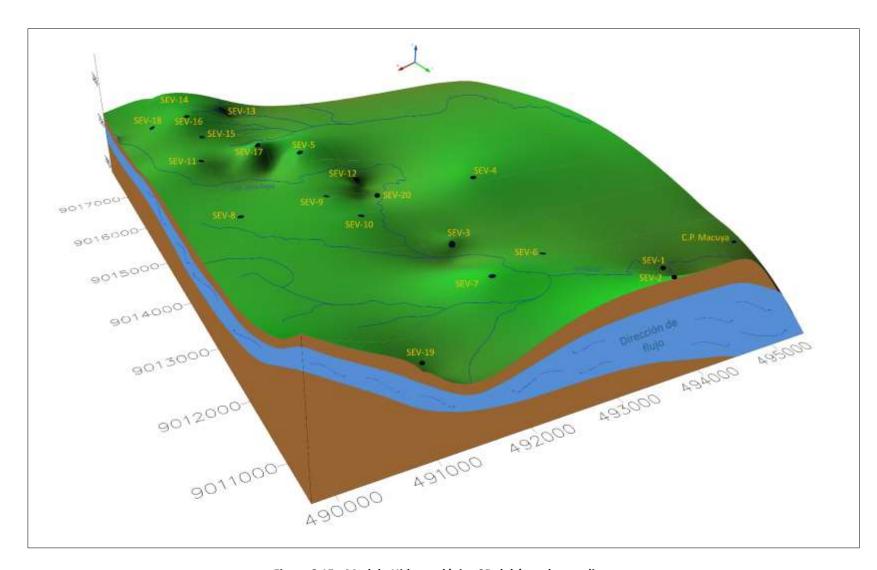


Figura 8.15.- Modelo Hidrogeológico 3D del área de estudio

CAPITULO IX

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se realiza a través de evaluación de tres factores, principalmente: (1) la capacidad de atenuación de la carga contaminante que ocurre en el suelo, en la zona no saturada y en la zona saturada; (2) la resistencia o la inaccesibilidad en el sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes; y (3) los factores externos que puedan facilitar o retardar el impacto de las cargas contaminantes, como la pendiente del terreno y la recarga del acuífero son un valor indicativo (cualitativo) y no cuantitativo, por tanto los resultados que se obtienen de su evaluación son relativos y a dimensionales. En este capítulo se describen estos tres factores de evaluación de la vulnerabilidad.

9.1 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA

En esta sección se hará una descripción de las principales metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, su utilidad y limitaciones.

9.1.1 Métodos de evaluación

Los métodos de evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación se agrupan en tres principales modelos: los de simulación, estadísticos y de superposición e índices (ó paramétricos).

Ambientes Hidrogeológicos. Evalúan la vulnerabilidad de grandes ambientes hidrogeológicos en términos cualitativos, utilizando una superposición de mapas temáticos. Es aplicable cuando la información básica específica es inadecuada o escasa.

CLASE DE VULNERABILIDAD	DEFINICIÓN
EXTREMA	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.
ALTA	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación.
MODERADA	Vulnerable a algunos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.

CLASE DE VULNERABILIDAD	DEFINICIÓN
BAJA	Solo vulnerables a contaminantes conservativos cuando son descargados en forma amplia y continua durante largos periodos.
DESPRECIABLE	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.

Tabla 9.1.- Definición práctica de las clases de vulnerabilidad (Fuente: EPA -Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).

La selección y aplicación de cualquiera de los métodos mencionados dependerá de la información existente, de la densidad de puntos de información y de la escala de evaluación que se aprecia en la siguiente figura. Según estos criterios los métodos de simulación son los que requieren información más detallada.

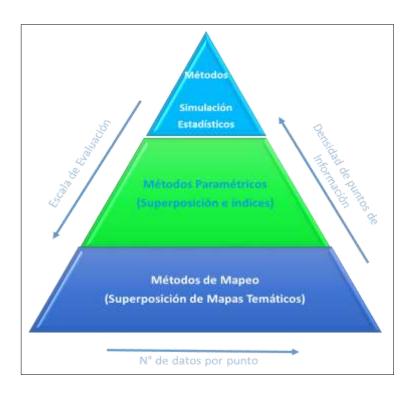


Figura 9.1.- Interrelación entre la densidad de los puntos de información, el número de datos por punto y la escala de evaluación (Fuente: EPA- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos,1998).

9.2 MÉTODOS PARAMÉTRICOS

Dentro de los métodos paramétricos (de superposición e índices) se distinguen las siguientes metodologías: (1) los métodos de matriz, que utilizan parámetros muy seleccionados y sólo tienen aplicabilidad local. (2) Los métodos de puntuación (RS), en los que cada parámetro está dividido en clases a las que se atribuye una puntuación. La metodología más destacada es el GOD. (3) Los métodos de puntuación y ponderación (PCSM), en los que además de asignar una puntuación a cada parámetro es multiplicado

por un factor ponderador. Las metodologías más destacadas son DRASTIC, SINTACS, EPIK y GALDIT. (4) Los métodos de relaciones analógicas (AR), como el AVI entre otros.

Para la evaluación de vulnerabilidad del acuífero presente en el ámbito del estudio se utilizó el método de DRASTIC que a continuación se presenta.

9.2.1 Método DRASTIC

El método DRASTIC utiliza para la evaluación de la vulnerabilidad siete parámetros, D, R, A, S, T, I, C que dependen del clima, el suelo, el sustrato superficial y subterráneo (ver **Figura 9.2**).

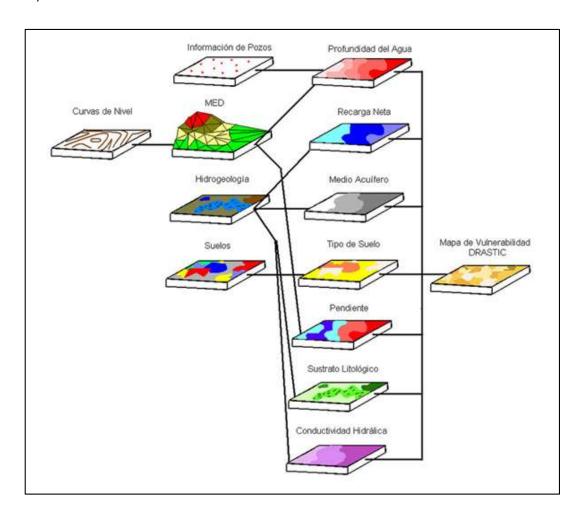


Figura 9.2.- Variables de evaluación del método DRASTIC.

A continuación se presenta en un cuadro integrado la descripción de cada uno de los siete parámetros que evalúa el Método de DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad del acuífero presente en el área de estudio.

Símbolo	Parámetro	Descripción
D	Profundidad del agua subterránea.	Indica el espesor de la zona no saturada que es atravesado por las aguas de infiltración y que pueden traen consigo el contaminante, hasta alcanzar el acuífero.
R	Recarga neta.	Es la cantidad de agua anual por unidad de superficie que contribuye a la alimentación del acuífero. La recarga resulta primariamente de la fracción de precipitación que no se evapotranspiración y de la escorrentía superficial. Es el principal vehículo transportador de los contaminantes.
Α	Litología y estructura del medio acuífero.	Representa las características del acuífero, en particular la capacidad del medio poroso y/o fracturado para transmitir los contaminantes.
S	Tipo de suelo.	Representa la capacidad de los suelos para oponerse a la movilización de los contaminantes y corresponde a la parte de la zona vadosa o no saturada, que se caracteriza por la actividad biológica. En conjunto, con el parámetro A, determinan la cantidad de agua de percolación que alcanza la superficie freática.
т	Topografía.	Representa la pendiente de la superficie topográfica e influye en la evacuación de aguas con contaminantes por escorrentía superficial y sub-superficial.
ı	Naturaleza de la zona no saturada.	Representa la capacidad del suelo para obstaculizar el transporte vertical.
С	Conductividad hidráulica del acuífero.	Determina la cantidad de agua que atraviesa el acuífero por unidad de tiempo y por unidad de sección, es decir la velocidad.

Tabla 9.2.- Parámetros de DRASTIC.

De acuerdo con las características, el comportamiento del acuífero presente en el área de estudio y de su comportamiento hidráulico, se le asigna a cada parámetro, índices que van desde 1,0 (mínima vulnerabilidad) hasta 10,0 (máxima vulnerabilidad), presentados en la **Tabla 9.3.**

FACTORES DE VALORACION		
VARIABLE	VALORACIÓN	
R (RECARGAS,mm)	Rr	
0 - 50	1	
50 - 103	3	
103 - 178	6	
178 - 254	8	
> 254	9	

D (PROFUNDIDAD,m)	Dr
0 - 1.5	10
1.5 - 4.6	9
4.6 - 9.1	7
9.1 - 15.2	5
15.2 - 22.9	3
22.9 - 30.5	2
> 30.5	1

A (LITOLOGÍA DEL ACUIFERO)	VALORACIÓN Ar	VALOR TÍPICO Ar
Lutita masiva.	1 - 3	2
Metamórfica/Ignea.	2 - 5	3
Metamórfica/Ignea metereorizada.	3 - 5	4
Arenas y gravas de origen glaciar.	4 - 6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas.	5 - 9	6
Arenisca masiva.	4 - 9	6
Caliza masiva.	4 - 9	6
Arena o grava.	4 - 9	8

Basaltos.	2 - 10	9
Caliza kárstica.	9 - 10	10

VARIABLE	VALORACIÓN
S (TIPO DE SUELO)	Sr
Delgado o ausente.	10
Grava.	10
Arena.	9
Agregado arcilloso o compactado.	7
Arenisca margosa.	6
Marga.	5
Limo margoso.	4
Arcilla margosa.	3
Estiércol - cieno.	2
Arcilla no compactada y no agregada.	1

T (PENDIENTE, %)	Tr
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
>18	1

I (NATURALEZA DE LA ZONA SATURADA)	VALORACIÓN Ir	VALOR TIPICO Ir
Capa confinante.	1	1
Cieno - arcilla.	2 - 6	3
Lutita.	2 - 5	3
Caliza.	2 - 7	6
Arenisca.	4 - 8	6
Secuencias de areniscas, caliza y lutita.	4 - 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo.	4 - 8	6
Metamórfica/Ignea.	2 - 8	4
Grava y arena.	6 - 9	8
Basalto.	2 - 10	9
Caliza kárstica.	8 - 10	10

C (CONDUCTIVIDA	Cr	
m/día	cm/s	
0.04 - 4.08	4.6*10 ⁻⁵ - 4.7*10 ⁻³	1
4.08 - 12.22*	4.7*10 ⁻³ - 1.4*10 ⁻²	2
12.22 - 28.55	1.4*10 ⁻² - 3.4*10 ⁻²	3
28.55 - 40.75	3.4*10 ⁻⁵ - 4.7*10 ⁻²	6
40.75 - 81.49	4.7*10 ⁻² - 9.5*10 ⁻²	8
> 81.49	> 4.7*10 ⁻²	10

Tabla 9.3.- Valoraciones de parámetros para el método DRASTIC, (*) Valor asumido según litología (Fuente: EPA - Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).

Además de la asignación de valores a cada parámetro, este método asigna un factor de ponderación a cada parámetro, que depende si el contaminante en cuestión es un pesticida

(DRASTIC-P) o no (dado que los pesticidas son menos volátiles y más persistentes), con valores que están entre 1,0 y 5,0 (ver **Tabla 9.4**).

FACTORES DE PONDERACIÓN								
TIPO DE CONTAMINANTE DW RW AW SW TW IW								
Pesticida (DRASTIC - P)	5	4	3	5	3	4	2	
No Pesticida.	5	4	3	2	1	5	3	

Tabla 9.4.- Factores de ponderación para el método DRASTIC (Fuente: EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).

El valor índice se obtiene, entonces, de la sumatoria de la multiplicación de cada parámetro por su respectivo factor de ponderación, así:

$$iV_{DRASTIC} = (D_r \times D_w) + (R_r \times R_w) + (A_r \times A_w) + (S_r \times S_w) + (T_r \times T_w) + (I_r \times I_w) + (C_r \times C_w)$$

r: factor de clasificación o valoración

w: factor de ponderación

Para el cálculo del análisis de vulnerabilidad de las aguas subterráneas, se utiliza el factor de ponderación Pesticida DRASTIC-P, donde los resultados pueden variar entre 23 (mínima) y 230 (máxima), en la práctica este índice varía entre 50 y 200. Seguidamente ubicamos el valor del índice de vulnerabilidad determinado en el siguiente cuadro para determinar el grado de vulnerabilidad para cada punto evaluado.

GRADOS DE VULNERABILIDAD - DRASTIC							
VULNE	RABILIDAD GENERAL	VULNERABILIDAD PESTICIDA					
GRADO	VULNERABILIDAD	GRADO	VULNERABILIDAD				
Muy bajo.	23 - 64	Muy bajo.	26 - 73				
Bajo.	65 - 105	Bajo.	74 - 120				
Moderado.	106 - 146	Moderado.	121 - 167				
Alto.	147 - 187	Alto.	168 - 214				
Muy alto.	188 - 230	Muy alto.	215 - 260				

Tabla 9.5.- Grados de vulnerabilidad - Método DRASTIC.

9.2.2 Análisis de resultados del método DRASTIC

Para hallar el grado de vulnerabilidad a las aguas subterráneas, se analizó distintos casos, donde interactúa la variabilidad de cada parámetro que solicita el método Drastic. Los resultados indican que el grado de vulnerabilidad del acuífero presente en el área de estudio es de muy bajo a moderado, es bajo para las zonas donde el nivel freático presenta

mayor profundidad, además de presentar una litología estructurada por arcilla, ya que este se comporta como un material de baja conductividad hidráulica; y grado de vulnerabilidad Moderado donde el nivel freático se encuentra más elevado (generalmente las zonas de poca pendiente y cercanas a las quebradas o ríos) y presentan una litología estructurada por limos margosos, ya que al encontrarse estos en la mayoría de casos de manera saturada, colabora en la eficiencia de la conductividad hidráulica. En la siguiente tabla se muestra los resultados del análisis de vulnerabilidad a las aguas subterráneas.

	WGS84 -	CIÓN UTM - ZONA 18 SUR	ANALISIS DE VULNERABILIDAD DRASTIC									
CODIGO	ESTE (m)	NORTE (m)	D _{r*w}	R_{r^*w}	A _{r*w}	S _{r*w}	T _{r*w}	I _{r*w}	C _{r*w}	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	CATEGORÍA	GRADO DE VULNERABILIDAD
SEV - 01	494440	9010818	9	3	6	6	9	3	2	139	3	moderado
SEV - 02	494503	9010698	5	3	6	6	9	3	2	119	1	muy bajo
SEV - 03	492334	9012601	7	3	6	6	9	3	3	131	1	muy bajo
SEV - 04	493154	9013573	7	3	6	6	9	3	2	129	3	moderado
SEV - 05	491205	9015595	5	3	6	6	9	3	2	119	1	muy bajo
SEV - 06	493057	9011936	7	3	6	6	9	3	2	129	2	bajo
SEV - 07	492060	9011336	7	3	6	6	9	3	2	129	2	bajo
SEV - 08	490442	9014013	7	3	6	6	9	3	2	129	2	bajo
SEV - 09	491494	9014082	7	3	6	6	9	3	2	129	3	moderado
SEV - 10	491626	9013393	2	3	6	6	9	3	1	102	1	muy bajo
SEV - 11	490498	9015686	5	3	6	6	9	3	2	119	1	muy bajo
SEV - 12	491612	9015191	7	3	6	6	9	3	2	129	3	moderado
SEV - 13	491294	9017386	7	3	6	6	9	3	2	129	3	moderado
SEV - 14	490476	9017918	2	3	6	6	9	3	2	104	1	muy bajo
SEV - 15	490747	9016481	7	3	6	6	9	3	2	129	2	bajo
SEV - 16	490685	9016 941	7	3	6	6	9	3	2	129	2	bajo
SEV - 17	491351	9016 054	3	3	6	6	9	3	2	109	1	muy bajo
SEV - 18	490234	9017 056	7	3	6	6	9	3	1	127	2	bajo
SEV - 19	490869	9010 430	7	3	6	6	9	3	2	129	3	moderado
SEV - 20	492097	9014 581	7	3	6	6	9	3	2	129	3	moderado

Tabla 9.6.- Resultados de índices de vulnerabilidad DRASTIC para los puntos evaluados.

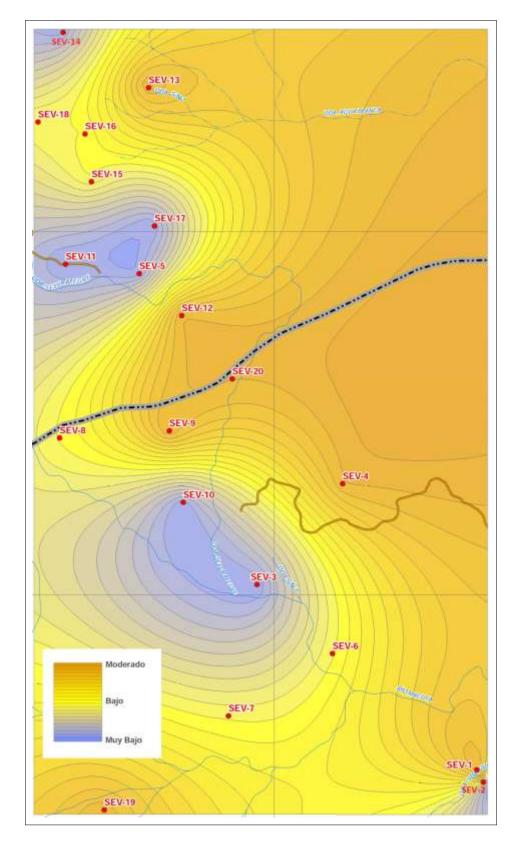


Figura 9.3.- Grado de vulnerabilidad para el área de estudio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Geológicamente el área de estudio se encuentra emplazado en el sector noroccidental de la denominada cuenca Ucayali, que es una cuenca sedimentaria de filiación petrolífera de más de 5000 metros de espesor y que fue conformada durante el Cretáceo. Las rocas que afloran en el área de estudio corresponden al Mioceno y Plioceno (formación Chambira e Ipururo, respectivamente).
- Los análisis geoeléctricos de los 20 SEV, caracterizan 6 horizontes, donde se presentan resistividades variables en el primer estrato que varían entre los rangos de 5 a 156 Ohm*m con espesores entre los 1.3 m hasta los 5.0 m, estas diferentes resistividades se presentan debido al material existente en la superficie, es decir materiales orgánicos, luego un segundo estrato con resistividades más bajas respecto al estrato anterior entre los rango de 3 a 10 Ohm*m con espesores entre los 1 y 17 m, este cambio de resistividad respecto al estrato superior se deben a la presencia de una zona saturada, y materiales finos saturados (arcillas, limos), y cierto contenido de sales entre sus poros y fracturas, motivo por el cual tienen estas bajas resistividades. Luego un estrato con resistividades de 10 a 30 Ohm*m el cual está asociado a la saturación de agua, y dos últimos horizontes que forman la base del horizonte saturado con resistividades bajas a muy altas, debido a la presencia de material consolidado compacto.
- Se inventariaron seis puntos de agua superficial en la cabecera de la subcuenca del Macuya, un punto de agua subterránea ubicado en el centro poblado de Macuya y varias quebradas que fueron identificadas como quebrada Shansho, Selva alegre, s/n 1 y s/n 2 que tributan al río Macuya.
- De los resultados obtenidos en las estaciones de muestreo de agua superficial se concluyó que la concentración de metales, las estaciones AG-01 y AG-02, el Zinc (Zn) excede ligeramente los estándares de calidad para agua ECA Categoría 4. Sin embargo, cabe resaltar que los valores son bajos, y estos no se considerarían contaminantes para riego de vegetales y consumo de animales. Mientras que en el de agua subterránea la

concentración de Aluminio no cumple con los valores de estándar de calidad ambiental Categoría 1 A2, esto podría deberse a las características de composición química del terreno. El aluminio es un componente natural del agua, debido principalmente a causas naturales y litológicas ya que forma parte de la estructura físico-química de las arcillas.

- Según el diagrama de Piper, las aguas muestreadas en el sector de Macuya, son de tipo sulfatadas y/o cloruradas, cálcicas y/o magnésicas y Aguas cálcicas.
- Hidráulicamente la zona presenta material litológico donde predomina la Arena media,
 Arena fina y Arena arcillosa, por ello podríamos considerar inicialmente que los valores
 de permeabilidad tienen un promedio de 20 metros/día.
- la zona cercana al Centro Poblado de Macuya es la que presenta los mayores valores de resistencia transversal (3162.17 ohm*m²), seguido por las zona este del área de estudio con valores de resistencia transversal entre 1050.01 1228.37 ohm*m². Por otro lado, la zona central y oeste presenta la resistencia transversal más baja (73.91 ohm*m²), lo que indica la presencia de depósitos aluviales de tamaño de grano finos a medio y depósitos cuaternarios.
- De los parámetros hidrogeológicos de Conductividad Hidráulica y Transmisividad determinados mediante el método indirecto ya descrito inicialmente, se determinó que los valores de Conductividad Hidráulica del estrato saturado varía en un rango de 1.7 a 10.8 m/día con un valor promedio de 8.0 m/día. Los valores más elevados de conductividad hidráulica se dan en las zonas cercanas al Centro Poblado de Macuya, y los valores más bajos en la zona central. De forma general el acuífero presente en la zona de estudio posee una mediana facilidad para dejar pasar el agua a través de él para cada unidad de área transversal a la dirección del flujo.
- Los valores de Transmisividad varían en un rango de 9 a 1831 m²/día con valor promedio de 348 m²/día. Los resultados de Transmisividad indican la relación directa entre la conductividad hidráulica y el espesor del estrato saturado; según esto, los espesores varían entre 2 y 169 m, es decir el acuífero presente en la zona de estudio posee una moderada Transmisividad respecto a su espesor y conexión hidráulica con el curso del agua.

- Hidrogeológicamente se determinaron tres unidades correspondientes a un acuitardo, acuífero libre semiconfinado y un acuicludo, los cuales están conformados por formaciones detríticas permeables en general no consolidados, y la profundidad de la napa freática en todo el área de estudio varía entre 2 y 30 metros de profundidad.
- Las variaciones del nivel freático tienen un comportamiento estacional, es decir, varían de acuerdo a la época del año, elevándose en los meses lluviosos, donde el acuífero aporta a las quebradas del rio Macuya debido a que el nivel freático en estos cuerpos de agua superficial es somero, mientras que en la época de menor precipitación las quebradas de la cuenca hidrográfica del rio Macuya recargan al acuífero discontinuo local de la zona de estudio, presentando así una dirección de flujo predominante de noroeste a sureste, condicionado principalmente por el transporte del agua infiltrada desde las áreas colinosas y ligeramente onduladas, incluyendo las aguas infiltradas desde los ríos y quebradas pertenecientes a la cuenca del rio Macuya.
- El comportamiento del acuífero está relacionado con la geoforma del terreno y con las características litológicas de cada estrato donde el gradiente hidráulico del acuífero es mayor al noroeste del área de estudio, mientras que el gradiente hidráulico disminuye a este y sureste del área de estudio, la misma que presenta un acuífero con características hidrogeológicas productivas.
- Respecto a las zonas de recarga y descarga del acuífero, en el norte y noroeste del área de estudio se encuentran en la zona de recarga que está directamente afectada por la pendiente y el aspecto del terreno; así como, la permeabilidad de la superficie, la cantidad de escorrentía y la evapotranspiración. Bajo estas consideraciones, la recarga total anual no es significativa respecto de la precipitación media anual. Teniendo en cuenta la variabilidad estacional de la recarga, y respecto a los demás pozos se sitúan en la zona de descarga.
- El análisis de vulnerabilidad de las aguas subterráneas indica que el área de estudio presenta un grado de vulnerabilidad de bajo a moderado, sin embargo se deben de tomar medidas de protección ante cualquier evento de derrame de alguna sustancia peligrosa.

BIBLIOGRAFÍA

- Applied Hidrogeophysics, Harry Vereecken, 2006.
- Liajov, L.L., Exploración eléctrica. Ed. Reverté, Barcelona, España, 1980.
- "Hidrología e Hidrogeología" F. Javier Sanchez San Román- Dpto de Geología-Universidad de Salamanca-España, 2011.
- "Prospección y Explotación de las aguas subterráneas" G. Castany, Barcelona, 2011.
- Mapa Ecológico del Perú y Guía Explicativa. ONERN, 1976 / INRENA, 1994.
- Inventario Nacional de Aguas Superficiales ONERN, 1980.
- Dr. Wolfang Trau y el Ing. Raúl Gutiérrez Irigoyen "Análisis Regional de las Avenidas en los Ríos del Perú", 2010.
- Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology; Emanuel Mazor, 2004.
- Ingeniería Geológica. Luis Gonzales de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño,
 Carlos Oteo, 2004.
- "Protección de la calidad del Agua Subterránea" autor: Stephen Foster, Ricardo Hirata, USA, 2002.
- "Groundwater Geophysics", 2nd Ed. Reinhard Kirsch Germany, 2009.
- "Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales" Autor Constantino de Miguel
 Fernández Cuba, 2012.
- Boletín Geológico del INGEMMET, Serie A-98,

- "Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos", IDS (BIRF), Autor Maria Victoria Velez Otálvaro Medellin, 2010.
- "Guía para el seguimiento general de las aguas subterráneas", International groundwater resources assessment centre Urecht, 2006.
- "Programa de exploración de aguas subterráneas", Instituto colombiano de geología y minería – Colombia, 2004.
- "Ingeniería Geológica" Autor. Luis I. González de Vallejo Madrid, 2002.
- Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea "Hidrogeología,
 Conceptos Básicos de Hidrología Subterránea", Fundación Centro Internacional
 de Hidrología Subterránea, 768 páginas, Barcelona-España 2009.
- "Hidrogeología para ambientólogos" Autor: Antonio Pulido Bosch, Almeria, 2007.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

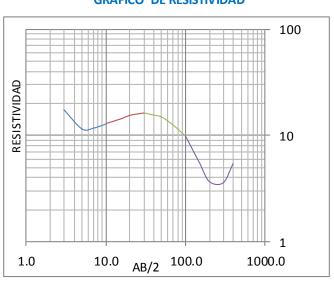
Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 494440 / N 9010818 Altitud: 203 Fecha: 26/09/2014

Referencia: Quebrada Shansho Operador: J.V.C.Q. SEV N° 01

AB/2	MN	K	ΔV	_	ρа
3.0	1.5	17.7	99.03	100	17.5
5.0	1.5	51.2	22.66	100	11.6
7.0	1.5	101.4	23.26	200	11.8
10.0	1.5	208.3	6.19	100	12.9
10.0	5.0	58.9	43.80	200	12.9
15.0	5.0	137.4	20.66	200	14.2
20.0	5.0	247.4	6.22	100	15.4
30.0	5.0	561.6	2.88	100	16.2
30.0	15.0	176.7	4.58	50	16.2
40.0	15.0	323.3	4.76	100	15.4
50.0	15.0	511.8	2.89	100	14.8
70.0	15.0	1014.5	1.22	100	12.4
100.0	15.0	2082.6	0.47	100	9.78
100.0	50.0	589.0	1.66	100	9.78
150.0	50.0	1374.4	0.40	100	5.51
200.0	50.0	2474.0	0.15	100	3.68
300.0	50.0	5615.6	0.06	100	3.58
400.0	50.0	10013.8	0.05	100	5.42

GRÁFICO DE RESISTIVIDAD





100

10

1000.0

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Coordenadas: E 494503/ N 9010698	Altitud: 232	Fecha: 26/09/2014
Referencia: Quebrada Shansho	Operador: J.V.C.Q.	SEV N° 02

Merer energ	a. Quebrat	ia Silalislic	,			Operador. J. V.C.Q.	3LV
AB/2	MN	K	ΔV	-	ρа	GRÁFICO DE	RESISTIVIDAD
3.0	1.5	17.7	260.42	200	23.01		
5.0	1.5	51.2	82.18	200	21.03		
7.0	1.5	101.4	36.28	200	18.4		
10.0	1.5	208.3	13.35	200	13.9		
10.0	5.0	58.9	47.19	200	13.9		
15.0	5.0	137.4	7.42	100	10.2		
20.0	5.0	247.4	3.46	100	8.57		
30.0	5.0	561.6	3.16	200	8.88		
30.0	15.0	176.7	10.05	200	8.88		
40.0	15.0	323.3	6.22	200	10.05		
50.0	15.0	511.8	4.18	200	10.7		
70.0	15.0	1014.5	2.17	200	11		
100.0	15.0	2082.6	1.04	200	10.8	1.0 10.0	100.0
100.0	50.0	589.0	3.67	200	10.8	AB/2	2
150.0	50.0	1374.4	1.50	200	10.3		
200.0	50.0	2474.0	0.39	100	9.73]	
300.0	50.0	5615.6	0.13	100	7.17]	
400.0	50.0	10013.8	0.09	200	4.44		



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 492334/ N 9012601 Altitud: 225 Fecha: 27/09/2014
Referencia: Quebrada Selva Alegre Operador: J.V.C.Q. SEV N° 03

Ticrei enter	a. Queb. ac	10 5CI VO 7 II	-P. C			9
AB/2	MN	K	ΔV	- 1	ρа	
3.0	1.5	17.7	158.50	100	28.01	
5.0	1.5	51.2	36.73	100	18.8	
7.0	1.5	101.4	12.72	100	12.9	
10.0	1.5	208.3	5.09	100	10.6	
10.0	5.0	58.9	18.00	100	10.6	
15.0	5.0	137.4	14.51	200	9.97	
20.0	5.0	247.4	4.04	100	10	
30.0	5.0	561.6	1.73	100	9.71	
30.0	15.0	176.7	5.49	100	9.71	
40.0	15.0	323.3	5.94	200	9.61	
50.0	15.0	511.8	3.61	200	9.24	
70.0	15.0	1014.5	1.59	200	8.05	
100.0	15.0	2082.6	0.34	100	7.15	
100.0	50.0	589.0	1.21	100	7.15	
150.0	50.0	1374.4	0.91	200	6.28	
200.0	50.0	2474.0	0.54	200	6.67	
300.0	50.0	5615.6	0.23	100	13.1	
	•	-	•	•	-	



100

10

1000.0

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Coordenadas: E 493154 / N 9013573	Altitud: 254	Fecha: 27/09/2014
Referencia: este central del área de estudio	Operador: J.V.C.Q.	SEV N° 04

or: J.V.C.Q.	Operador: J.V.C.Q	encia: este central del area de estudio							
GRÁFICO DE RESISTIVIDAD		ρа	I	ΔV	K	MN	AB/2		
		7.494	100	42.41	17.7	1.5	3.0		
		6.317	200	24.68	51.2	1.5	5.0		
		6.65	100	6.56	101.4	1.5	7.0		
		7.19	100	3.45	208.3	1.5	10.0		
		7.19	200	24.41	58.9	5.0	10.0		
		8	200	11.64	137.4	5.0	15.0		
		8.73	100	3.53	247.4	5.0	20.0		
		9.53	100	1.70	561.6	5.0	30.0		
		9.53	100	5.39	176.7	15.0	30.0		
		9.34	100	2.89	323.3	15.0	40.0		
		8.99	50	0.88	511.8	15.0	50.0		
10.0	1.0	7.62	100	0.75	1014.5	15.0	70.0		
10.0 100.0	1.0 1	4.47	20	0.04	2082.6	15.0	100.0		
AB/2		4.47	50	0.38	589.0	50.0	100.0		
		2.88	100	0.21	1374.4	50.0	150.0		
		2.83	100	0.11	2474.0	50.0	200.0		
		5.17	200	0.18	5615.6	50.0	300.0		
				·			_		



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 491205/ N 9015595 Altitud: 259 Fecha: 28/09/2014 Operador: IVCO Referencia: Quehrada Selva Alegre SEV N° 05

		or: J.V.C.Q.	Operador			egre	ia Selva Al	a: Quebra c	Referencia
RESIS	ÁFICO DE	GRÁ		ρа	1	ΔV	K	MN	AB/2
				86.91	200	983.62	17.7	1.5	3.0
				42.19	200	164.86	51.2	1.5	5.0
				25.55	200	50.37	101.4	1.5	7.0
				16.72	200	16.06	208.3	1.5	10.0
				16.7	200	56.70	58.9	5.0	10.0
				11.8	200	17.17	137.4	5.0	15.0
				10.9	200	8.81	247.4	5.0	20.0
				10.8	200	3.85	561.6	5.0	30.0
				10.8	200	12.22	176.7	15.0	30.0
				10.1	100	3.12	323.3	15.0	40.0
				8.8	200	3.44	511.8	15.0	50.0
				5.88	200	1.16	1014.5	15.0	70.0
				4.21	200	0.40	2082.6	15.0	100.0
0.0	10	10.0	1.0	4.21	200	1.43	589.0	50.0	100.0
	AB/2]	2.7	200	0.39	1374.4	50.0	150.0
				2.52	200	0.20	2474.0	50.0	200.0
				3.14	200	0.11	5615.6	50.0	300.0

RESISTIVIDAD

100

10

1000.0

R Ε S

S Т

D Α D



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Coordenadas: E 493057 / N 9011936	Altitud: 226	Fecha: 29/09/2014
Referencia: Rio Macuya	Operador: J.V.C.Q.	SEV N° 06

iei eiici	a. NIO IVIAC	uya				Operador. J. v. c. Q. SEV IV 00
AB/2	MN	K	ΔV	I	ра	GRÁFICO DE RESISTIVIDAD
3.0	1.5	17.7	50.31	100	8.89	100
5.0	1.5	51.2	16.45	100	8.42	_ R
7.0	1.5	101.4	8.23	100	8.35	
10.0	1.5	208.3	4.04	100	8.42	S
10.0	5.0	58.9	14.29	100	8.42	
15.0	5.0	137.4	6.82	100	9.37	S
20.0	5.0	247.4	3.89	100	9.63	10 Т
30.0	5.0	561.6	1.66	100	9.31	ı
30.0	15.0	176.7	5.27	100	9.31	v
40.0	15.0	323.3	2.42	100	7.83	ı
50.0	15.0	511.8	1.27	100	6.49	D
70.0	15.0	1014.5	0.52	100	5.3	A
100.0	15.0	2082.6	0.10	50	4.14	D 1
100.0	50.0	589.0	0.70	100	4.14	1.0 10.0 100.0 1000.0
150.0	50.0	1374.4	0.22	100	3.01	AB/2
200.0	50.0	2474.0	0.24	200	2.93	
300.0	50.0	5615.6	0.18	200	4.96	
	-	-	-	•	-	



100

10

1000.0

R Ε S

S

D Α D

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 492060/ N 9011336 Altitud: 277 Fecha: 30/09/2014 SEV N° 07

Referencia	a: Zona su	r-oeste del	área de es	Operador: J.V.C.Q.		SEV		
AB/2	MN	K	ΔV	I	ρа	GRÁFICO	DE RESIS	TIVIDAD
3.0	1.5	17.7	128.12	200	11.32			
5.0	1.5	51.2	18.89	100	9.67			
7.0	1.5	101.4	5.20	50	10.55			
10.0	1.5	208.3	6.00	100	12.49			
10.0	5.0	58.9	21.20	100	12.49			
15.0	5.0	137.4	22.99	200	15.8			
20.0	5.0	247.4	6.75	100	16.7			
30.0	5.0	561.6	5.95	200	16.71			
30.0	15.0	176.7	9.46	100	16.71			
40.0	15.0	323.3	5.07	100	16.4			
50.0	15.0	511.8	3.03	100	15.5			
70.0	15.0	1014.5	0.14	10	14.3			
100.0	15.0	2082.6	0.31	50	13.1	1.0 10.0	100.0	100
100.0	50.0	589.0	1.11	50	13.1	AB/2	2	
150.0	50.0	1374.4	0.79	100	10.8			
200.0	50.0	2474.0	0.35	100	8.76			
300.0	50.0	5615.6	0.18	100	10.3			
300.0	50.0	5615.6	0.37	199	10.3			
400.0	50.0	10013.8	0.23	200	11.4			

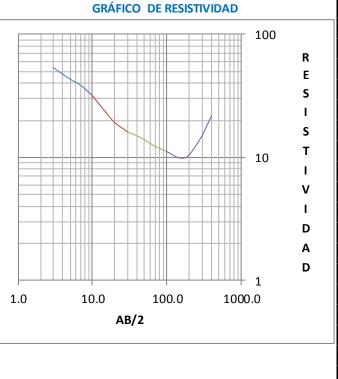


PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 490442 / N 9014013 Altitud: 241 Fecha: 01/10/2014 Operador: IV C O Poforoncia: Cabocora Pio Macuva SEV N° 08

		ე .	dor: J.V.C.C	Operad	rencia: Cabecera Rio Macuya									
RESIS	ICO DE	GRÁFICO			ρа	I	ΔV	K	MN	AB/2				
					53.3	100	301.62	17.7	1.5	3.0				
					43.4	20	16.96	51.2	1.5	5.0				
\blacksquare					38.6	100	38.05	101.4	1.5	7.0				
					32.1	100	15.41	208.3	1.5	10.0				
					32.1	100	54.49	58.9	5.0	10.0				
	$\overline{\Box}$				23.6	5	0.86	137.4	5.0	15.0				
					19.2	100	7.76	247.4	5.0	20.0				
					16	100	2.85	561.6	5.0	30.0				
					16	100	9.05	176.7	15.0	30.0				
					14.9	100	4.61	323.3	15.0	40.0				
					13.9	100	2.72	511.8	15.0	50.0				
					12.3	50	0.61	1014.5	15.0	70.0				
					11.2	100	0.54	2082.6	15.0	100.0				
0.00	10	0.0	1	1.0	11.2	50	0.95	589.0	50.0	100.0				
	B/2	AB/			9.91	50	0.36	1374.4	50.0	150.0				
					10.5	100	0.42	2474.0	50.0	200.0				
					15	100	0.27	5615.6	50.0	300.0				
					15	100	0.27	5615.6	50.0	300.0				
					21.8	100	0.22	10013.8	50.0	400.0				





PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 491494 / N 9014082 Altitud: 238 Fecha: 01/10/2014

Referencia: Entre la Qda. Selva Alegre y Rio Macuya Operador: J.V.C.Q. SEV N° 09

	SEV N° 09		r: J.V.C.Q.	Operador	Referencia: Entre la Qda. Selva Alegre y Rio Macuya						
	/IDAD	E RESISTIV	GRÁFICO DE		ρа	I	ΔV	K	MN	AB/2	
	100				10.6	200	119.97	17.7	1.5	3.0	
R					9.13	200	35.68	51.2	1.5	5.0	
E					8.34	200	16.44	101.4	1.5	7.0	
S					8.86	200	8.51	208.3	1.5	10.0	
ı					8.86	200	30.08	58.9	5.0	10.0	
S					12.6	200	18.33	137.4	5.0	15.0	
T	10				16.9	200	13.66	247.4	5.0	20.0	
1					24.1	100	4.29	561.6	5.0	30.0	
V					24.1	200	27.28	176.7	15.0	30.0	
I					33.6	200	20.78	323.3	15.0	40.0	
D					43.7	200	17.08	511.8	15.0	50.0	
Α					55.7	200	10.98	1014.5	15.0	70.0	
D	1				65.4	200	6.28	2082.6	15.0	100.0	
	1000.0	100.0	10.0 10	1.0	65.4	200	22.21	589.0	50.0	100.0	
			AB/2		74.6	200	10.86	1374.4	50.0	150.0	
			-, -		77.7	200	6.28	2474.0	50.0	200.0	
					80.9	200	2.88	5615.6	50.0	300.0	
					80.9	200	2.88	5615.6	50.0	300.0	
					83	200	1.66	10013.8	50.0	400.0	



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 491626 / N 9013393 Altitud: 245 Fecha: 02/10/2014

Referencia: Entre la Qda. Selva Alegre y Rio Macuya Operador: J.V.C.Q. SEV N° 10

						Special 51 11 15
AB/2	MN	K	ΔV	-	ρа	GRÁFICO DE RESISTIVIDAD
3.0	1.5	17.7	302.75	200	26.75	100
5.0	1.5	51.2	76.51	200	19.58	R
7.0	1.5	101.4	33.57	200	17.03	E
10.0	1.5	208.3	14.01	200	14.59	S
10.0	5.0	58.9	49.54	200	14.59	
15.0	5.0	137.4	18.77	200	12.9	S
20.0	5.0	247.4	10.11	200	12.5	10 т
30.0	5.0	561.6	4.35	200	12.2	ı
30.0	15.0	176.7	6.90	100	12.2	v
40.0	15.0	323.3	7.30	200	11.8	
50.0	15.0	511.8	4.69	200	12	D
70.0	15.0	1014.5	2.48	200	12.6	A
100.0	15.0	2082.6	1.29	200	13.4	D 1
100.0	50.0	589.0	4.55	200	13.4	1.0 10.0 100.0 1000.0
150.0	50.0	1374.4	1.76	200	12.1	AB/2
200.0	50.0	2474.0	0.85	200	10.5	,
300.0	50.0	5615.6	0.32	200	8.91	
400.0	50.0	10013.8	0.19	200	9.66	
500.0	50.0	15668.7	0.17	200	13.5	



100

10

1000.0

R Ε S

S Т

٧

D Α D

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Coordenadas: E 490498 / N 9015686	Altitud: 240	Fecha: 03/10/2014
Referencia: Fin de la trocha del anexo de Corazon de Jesus	Operador: J.V.C.Q.	SEV N° 11

Referencia	a: Fin de la	a trocha de	l anexo de	Corazon d	le Jes us	Operador: J.V.C.Q.	SEV
AB/2	MN	K	ΔV	1	ρа	GRÁFICO DE	RESISTIVIDAD
3.0	1.5	17.7	318.14	200	28.11		
5.0	1.5	51.2	28.60	100	14.64		
7.0	1.5	101.4	10.59	100	10.74		
10.0	1.5	208.3	3.90	100	8.124		
10.0	5.0	58.9	13.79	100	8.124		
15.0	5.0	137.4	4.91	100	6.75		
20.0	5.0	247.4	5.54	200	6.85		
30.0	5.0	561.6	1.42	100	7.98		
30.0	15.0	176.7	4.52	100	7.98		
40.0	15.0	323.3	2.56	100	8.29		
50.0	15.0	511.8	1.61	100	8.24		
70.0	15.0	1014.5	0.78	100	7.89		
100.0	15.0	2082.6	0.32	100	6.72		
100.0	50.0	589.0	1.14	100	6.72	1.0 10.0 10	00.0 1000
150.0	50.0	1374.4	0.73	200	5.02	AB/2	
200.0	50.0	2474.0	0.17	100	4.12	<u> </u>	
300.0	50.0	5615.6	0.01	20	2.74		
400.0	50.0	10013.8	0.05	200	2.74		
						· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Coordenadas: E 491612 / N 9015191	Altitud: 253	Fecha: 04/10/2014
Referencia: Quebrada Selva Alegre	Operador: J.V.C.Q.	SEV N° 12

Referenci	a: Quebra	da Selva Al	egre			Operador: J.V.C.Q. SEV N° 12
AB/2	MN	K	ΔV	-	ρа	GRÁFICO DE RESISTIVIDAD
3.0 5.0 7.0 10.0 15.0 20.0	1.5 1.5 1.5 1.5 5.0 5.0	17.7 51.2 101.4 208.3 58.9 137.4 247.4	105.54 34.23 16.65 5.86 41.46 7.08 3.38	100 100 100 100 200 100	pa 18.65 17.52 16.89 12.21 12.21 9.736 8.365	GRÁFICO DE RESISTIVIDAD 100 R E S I S T
30.0 30.0 40.0 50.0 70.0	5.0 15.0 15.0 15.0 15.0 15.0	561.6 176.7 323.3 511.8 1014.5 2082.6	2.42 3.85 3.88 1.14 0.50 0.20	200 100 200 100 100 100	6.8 6.8 6.28 5.81 5.11 4.23	V V I D D A D D
100.0 150.0 200.0 300.0	50.0 50.0 50.0 50.0	589.0 1374.4 2474.0 5615.6	0.72 0.23 0.14 0.10	100 100 100 100	4.23 3.18 3.56 5.68	1.0 10.0 100.0 1000.0 AB/2



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 491294 / N 9017386 Altitud: 232 Fecha: 05/10/2014

Referencia: Quebrada S/N 2 Operador: J.V.C.Q. SEV N° 13

Referencia	a: Quebra	da S/N 2				Operador: J.V.C.Q. SEV N° 13
AB/2	MN	K	ΔV	_	ρа	GRÁFICO DE RESISTIVIDAD
3.0	1.5	17.7	252.10	200	22.275	100
5.0	1.5	51.2	49.72	100	25.449	R
7.0	1.5	101.4	49.82	200	25.271	E
10.0	1.5	208.3	24.39	200	25.397	S
10.0	5.0	58.9	86.23	200	25.397	
15.0	5.0	137.4	28.67	200	19.7	S
20.0	5.0	247.4	6.47	100	16	10 Т
30.0	5.0	561.6	2.30	100	12.9	1
30.0	15.0	176.7	7.30	100	12.9	v
40.0	15.0	323.3	6.80	200	11	
50.0	15.0	511.8	3.74	200	9.56	D
70.0	15.0	1014.5	1.64	200	8.33	A
100.0	15.0	2082.6	0.69	200	7.18	D 1
100.0	50.0	589.0	2.44	200	7.18	1.0 10.0 100.0 1000.0
150.0	50.0	1374.4	0.43	100	5.9	AB/2
200.0	50.0	2474.0	0.22	100	5.39	,
300.0	50.0	5615.6	0.19	200	5.47	
-		•	·	•		-



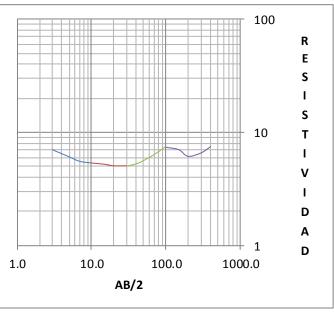
PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 490476 / N 9017918	Altitud: 248	Fecha: 06/10/2014
Referencia: Zona nor-oeste del área de estudio	Operador: J.V.C.Q.	SEV N° 14

Referencia	a: Zona no	r-oeste del	area de es	studio		Operador: J.V.C.
AB/2	MN	K	ΔV		ρа	
3.0	1.5	17.7	79.79	200	7.05	
5.0	1.5	51.2	23.91	200	6.12	
7.0	1.5	101.4	10.96	200	5.56	
10.0	1.5	208.3	5.16	200	5.37	
10.0	5.0	58.9	18.23	200	5.37	
15.0	5.0	137.4	3.80	100	5.22	
20.0	5.0	247.4	4.07	200	5.04	
30.0	5.0	561.6	1.80	200	5.04	
30.0	15.0	176.7	5.70	200	5.04	
40.0	15.0	323.3	1.63	100	5.26	
50.0	15.0	511.8	1.09	100	5.6	
70.0	15.0	1014.5	1.25	200	6.33	
100.0	15.0	2082.6	0.71	200	7.42	1.0
100.0	50.0	589.0	2.52	200	7.42	
150.0	50.0	1374.4	1.02	200	7.04	
200.0	50.0	2474.0	0.49	200	6.11	
300.0	50.0	5615.6	0.23	200	6.58	
400.0	50.0	10013.8	0.15	200	7.51	

GRÁFICO DE RESISTIVIDAD





100

R E S

S

A D

₁₀ T

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Coordenadas: E 490747 / N 9016481	Altitud: 234	Fecha: 07/10/2014
Referencia: Cabecera de la Qda. Agua Blanca	Operador: J.V.C.Q.	SEV N° 15

° 15	SEV N			C.Q.	dor: J.V.C	Ope		nca	a. Agua Bla	a de la Qda	: Cabecer	Referencia
	DAD	RESISTIV	ICO DE	GRÁFI			ρа	1	ΔV	K	MN	AB/2
1							17.62	200	199.42	17.7	1.5	3.0
\blacksquare							14.44	200	56.43	51.2	1.5	5.0
Ш							13.22	200	26.06	101.4	1.5	7.0
Ш							12.4	100	5.95	208.3	1.5	10.0
							12.4	100	21.05	58.9	5.0	10.0
							11.9	100	8.66	137.4	5.0	15.0
1							12.27	100	4.96	247.4	5.0	20.0
▦¯							12.2	100	2.17	561.6	5.0	30.0
H							12.2	100	6.90	176.7	15.0	30.0
Ш							10.6	100	3.28	323.3	15.0	40.0
							9.29	200	3.63	511.8	15.0	50.0
							8.01	200	1.58	1014.5	15.0	70.0
Щ 1							7.39	200	0.71	2082.6	15.0	100.0
.000.0	1	100.0		10.0] 1	7.39	200	2.51	589.0	50.0	100.0
			AB/2				7.579	200	1.10	1374.4	50.0	150.0
							7.236	200	0.58	2474.0	50.0	200.0
							7.035	200	0.25	5615.6	50.0	300.0
							7.887	200	0.16	10013.8	50.0	400.0



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 490685 / N 9016941 Altitud: 257 Fecha: 07/10/2014

Referencia: Cabecera de la Qda. Agua Blanca Operador: J.V.C.Q. SEV N° 16

Neiei eiici	refericia. Cabecera de la Qua. Agua bianca						
AB/2	MN	K	ΔV	- 1	ρа		
3.0	1.5	17.7	309.54	100	54.70		
5.0	1.5	51.2	55.49	100	28.40		
7.0	1.5	101.4	10.15	100	10.30		
10.0	1.5	208.3	3.93	100	8.19		
10.0	5.0	58.9	13.90	100	8.19		
15.0	5.0	137.4	6.29	100	8.65		
20.0	5.0	247.4	3.70	100	9.16		
30.0	5.0	561.6	1.80	100	10.13		
30.0	15.0	176.7	5.73	100	10.13		
40.0	15.0	323.3	3.05	100	9.86		
50.0	15.0	511.8	3.60	200	9.22		
70.0	15.0	1014.5	0.82	100	8.28		
100.0	15.0	2082.6	0.71	200	7.42		
100.0	50.0	589.0	1.26	100	7.42		
150.0	50.0	1374.4	0.94	200	6.49		
200.0	50.0	2474.0	0.22	100	5.54		
300.0	50.0	5615.6	0.16	200	4.40		
400.0	50.0	10013.8	0.12	200	5.79		
						ı	

GRÁFICO DE RESISTIVIDAD 100.00 R Ε S S Т 10.00 D Α D 1.00 10.0 100.0 1000.0 1.0 AB/2



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Coordenadas: E 491351 / N 9016054	Altitud: 222	Fecha: 28/09/2014
Referencia: entre las Qdas. Selva Alegre y Agua Blanca	Operador: J.V.C.Q.	SEV N° 17

eferencia: entre las Qdas. Selva Alegre y Agua Blanca				y Agua Bla	Operador: J.V.C.Q. SEV N° 17	
AB/2	MN	K	ΔV	- 1	ρа	GRÁFICO DE RESISTIVIDAD
3.0	1.5	17.7	72.94	200	6.445	100.000
5.0	1.5	51.2	22.07	200	5.648	R
7.0	1.5	101.4	10.45	200	5.300	E
10.0	1.5	208.3	5.03	200	5.240	S
10.0	5.0	58.9	17.79	200	5.240	
15.0	5.0	137.4	7.48	200	5.140	s
20.0	5.0	247.4	4.46	200	5.520	10.000 T
30.0	5.0	561.6	2.19	200	6.160	
30.0	15.0	176.7	6.97	200	6.160	V
40.0	15.0	323.3	4.36	200	7.051	
50.0	15.0	511.8	1.50	100	7.700	D D
70.0	15.0	1014.5	0.84	100	8.562	1
100.0	15.0	2082.6	0.45	100	9.347	1.000 D
100.0	50.0	589.0	1.59	100	9.347	1.0 10.0 100.0 1000.0
150.0	50.0	1374.4	1.34	200	9.187	AB/2
200.0	50.0	2474.0	0.34	100	8.293	
300.0	50.0	5615.6	0.11	100	6.175	1
400.0	50.0	10013.8	0.06	100	6.244	1
						1



R

S

S T

٧

D

D

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Coordenadas: E 490234 / N 9017056	Altitud: 236	Fecha: 07/10/2014
Referencia: Cabecera de la Qda. Agua Blanca	Operador: J.V.C.Q.	SEV N° 18

:V N° 18	SE	C.Q.	Operador: J.V.C.Q.	Referencia: Cabecera de la Qda. Agua Blanca					
	RESISTIVIDAD	GRÁFICO DE	G	ρа	I	ΔV	K	MN	AB/2
100.000				5.851	100	33.11	17.7	1.5	3.0
100.000				5.623	200	21.97	51.2	1.5	5.0
				5.229	200	10.31	101.4	1.5	7.0
				5.374	100	2.58	208.3	1.5	10.0
				5.374	100	9.12	58.9	5.0	10.0
				6.110	100	4.45	137.4	5.0	15.0
40.000				6.880	100	2.78	247.4	5.0	20.0
10.000				7.900	100	1.41	561.6	5.0	30.0
				7.900	100	4.47	176.7	15.0	30.0
				8.300	200	5.13	323.3	15.0	40.0
				7.850	200	3.07	511.8	15.0	50.0
				6.660	200	1.31	1014.5	15.0	70.0
				6.290	200	0.60	2082.6	15.0	100.0
1.000	0 1000	100 100	10 100	6.290	200	2.14	589.0	50.0	100.0
J.U	.0 1000		1.0 10.0	6.010	200	0.87	1374.4	50.0	150.0
		AB/2		6.320	200	0.51	2474.0	50.0	200.0
				8.930	200	0.32	5615.6	50.0	300.0
				12.700	200	0.25	10013.8	50.0	400.0



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

Coordenadas: E 490869 / N 9010430 Altitud: 257 Fecha: 08/10/2014

Referencia: Sur-oeste del área de estudio Operador: J.V.C.Q. SEV N° 19

Referencia	a: Sur-oest	e dei area	ae estuard)		Operador: J.V.C.Q.	SEV IV 19
AB/2	MN	K	ΔV	- 1	ρa	GRÁFICO DE RI	ESISTIVIDAD
3.0	1.5	17.7	55.17	100	9.75		100
5.0	1.5	51.2	35.91	200	9.19		
7.0	1.5	101.4	19.91	200	10.1		R E
10.0	1.5	208.3	5.33	100	11.1		S
10.0	5.0	58.9	18.84	100	11.1		
15.0	5.0	137.4	8.08	100	11.1		S
20.0	5.0	247.4	4.73	100	11.7		1 -
30.0	5.0	561.6	2.48	100	13.9		10
30.0	15.0	176.7	7.87	100	13.9		V
40.0	15.0	323.3	0.00	200			ı
50.0	15.0	511.8	7.27	200	18.600	1	D
						1	A
							D
							1
						1.0 10.0	100.0
						AB/2	



PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA - HOJA DE CAMPO

Proyecto: Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

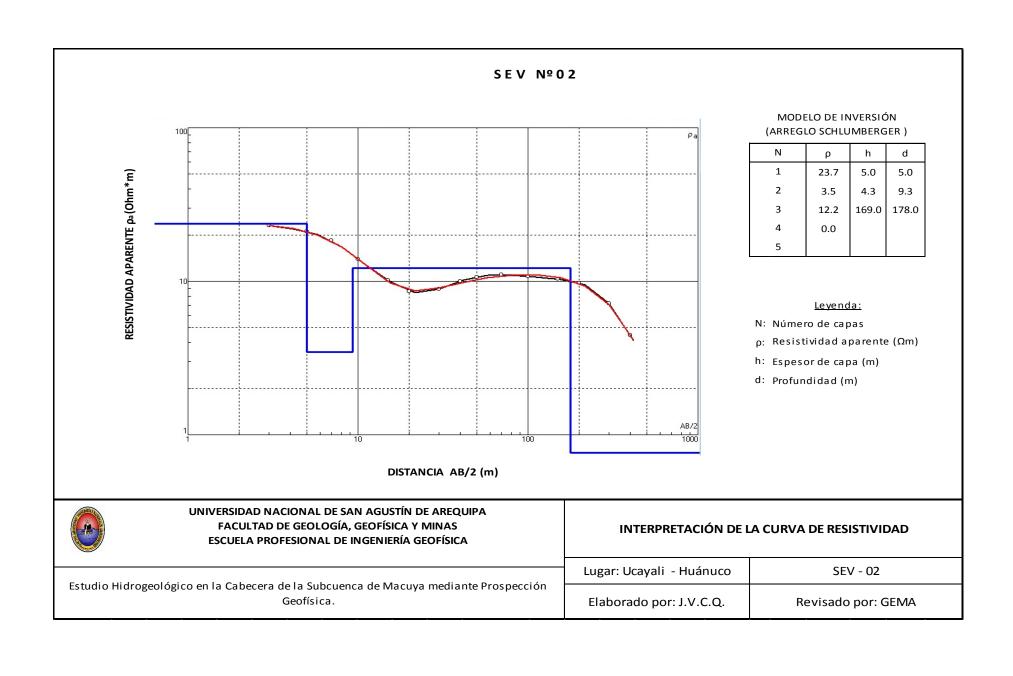
Coordenadas: E 492097 / N 9014581 Altitud: 209 Fecha: 09/10/2014

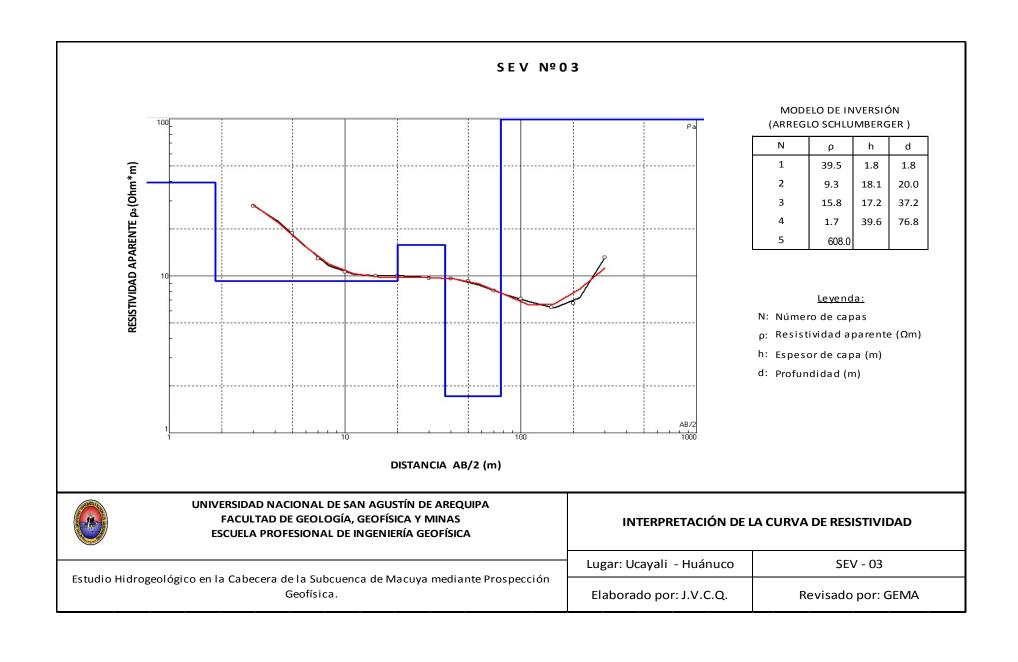
Referencia: Quebrada Selva Alegre Operador: J.V.C.Q. SEV N° 20

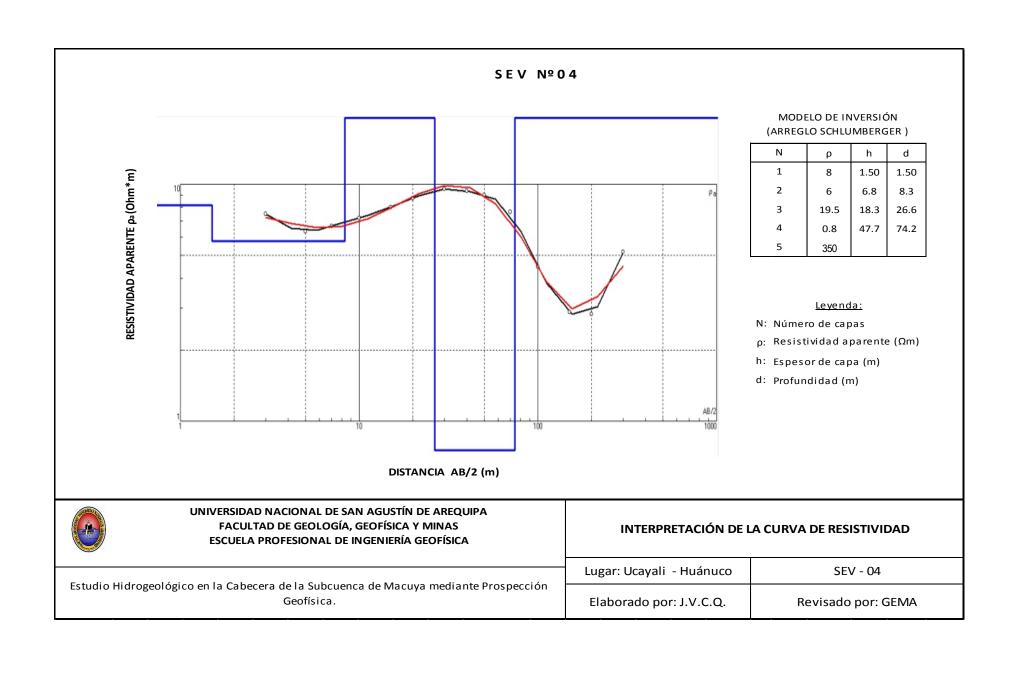
Reference	a. Quebi at	ia Serva Ar	egre			_
AB/2	MN	K	ΔV	1	ρа	
3.0	1.5	17.7	342.30	100	60.490	Γ
5.0	1.5	51.2	52.81	100	27.030	1
7.0	1.5	101.4	15.57	100	15.800	1
10.0	1.5	208.3	4.61	100	9.610	1
10.0	5.0	58.9	16.31	100	9.610]
15.0	5.0	137.4	4.40	100	6.050	1
20.0	5.0	247.4	2.00	100	4.960	1
30.0	5.0	561.6	0.84	100	4.700	1
30.0	15.0	176.7	2.66	100	4.700	1
40.0	15.0	323.3	0.76	50	4.890]
50.0	15.0	511.8	0.47	50	4.830]
70.0	15.0	1014.5	0.45	100	4.580]
100.0	15.0	2082.6	0.39	200	4.070]
100.0	50.0	589.0	1.38	200	4.070]
150.0	50.0	1374.4	0.63	200	4.340	1
200.0	50.0	2474.0	0.19	100	4.770	
300.0	50.0	5615.6	0.11	100	6.380	
400.0	50.0	10013.8	0.09	100	9.360	
						Ī

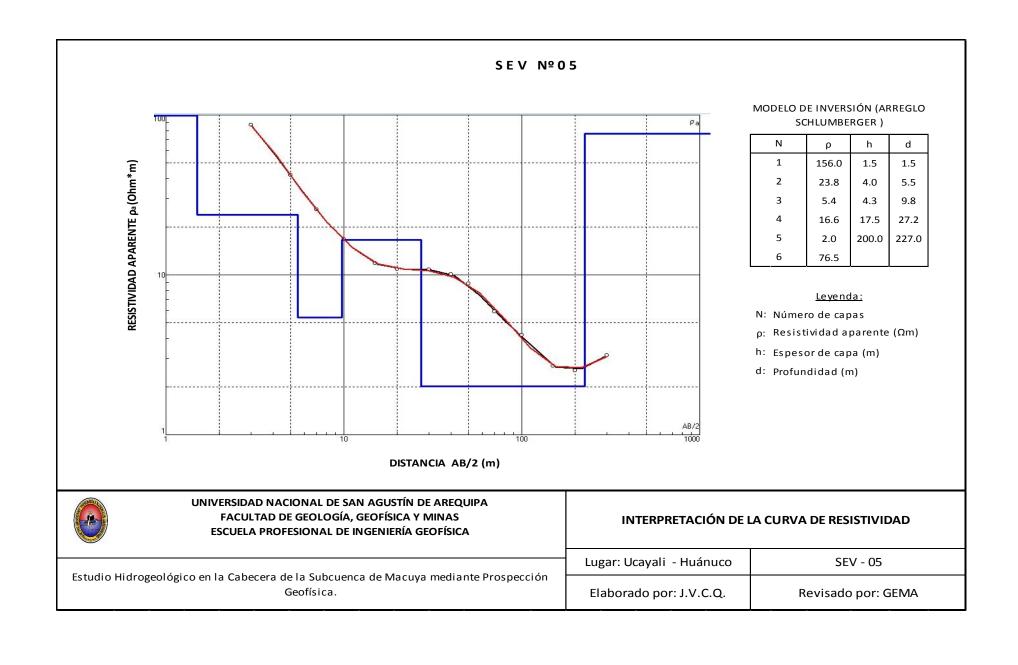
100.000 100.000 100.000 1.0 10.0 100.0 1000.0 AB/2

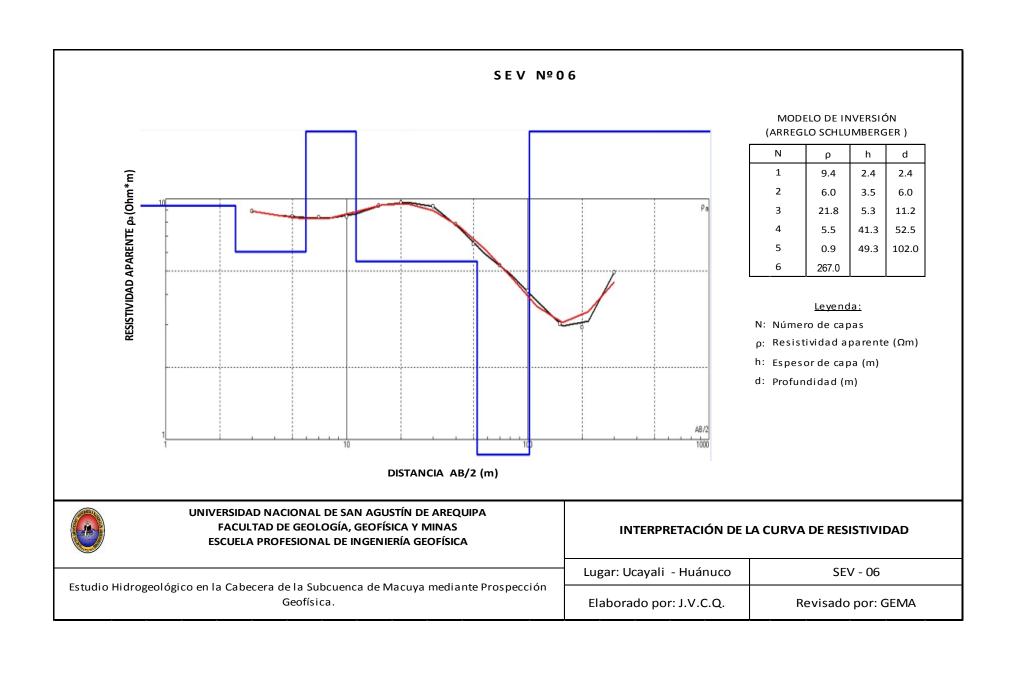
SEV Nº01 MODELO DE INVERSIÓN (ARREGLO SCHLUMBERGER) Ν ρ 1.5 1 29.2 1.5 RESISTIVIDAD APARENTE pa (Ohm*m) 2 0.7 2.2 2.6 3 17.7 49.1 51.3 4 55.6 0.7 107.0 333.0 <u>Levenda:</u> N: Número de capas ρ : Resistividad aparente (Ω m) h: Espesor de capa (m) d: Profundidad (m) DISTANCIA AB/2 (m) UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA **FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS** INTERPRETACIÓN DE LA CURVA DE RESISTIVIDAD **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA** Lugar: Ucayali - Huánuco SEV - 01 Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Elaborado por: J.V.C.Q. Geofísica. Revisado por: GEMA

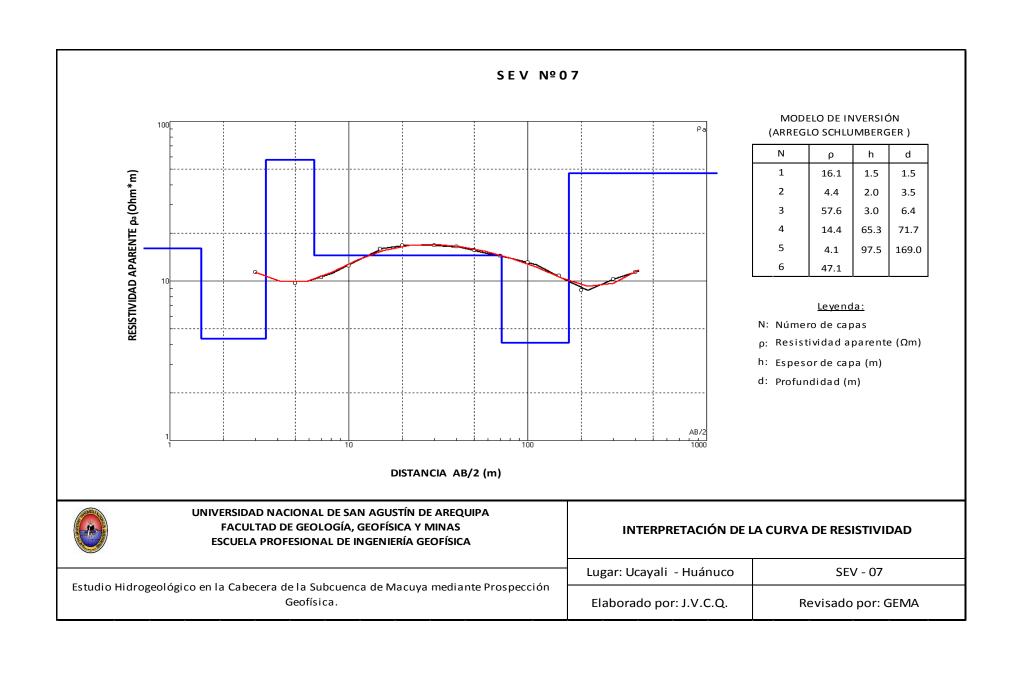


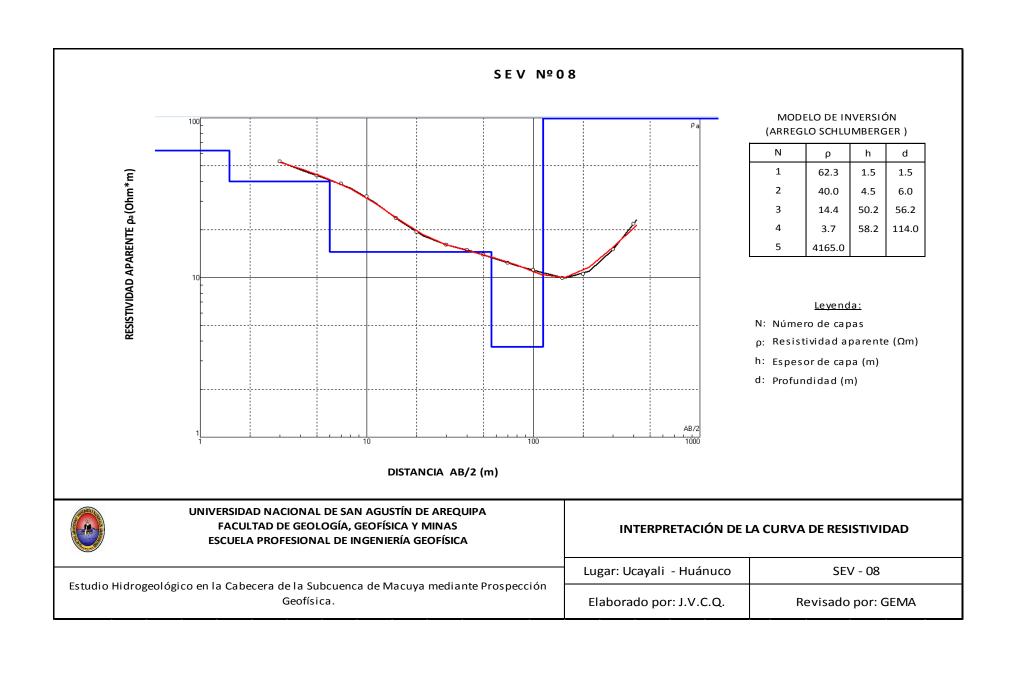


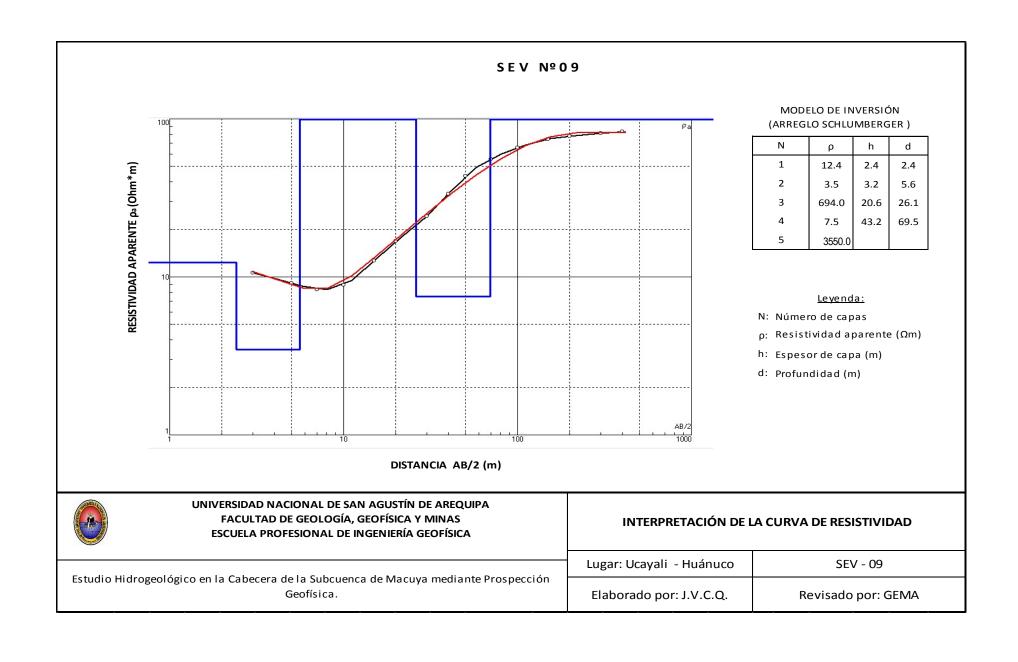


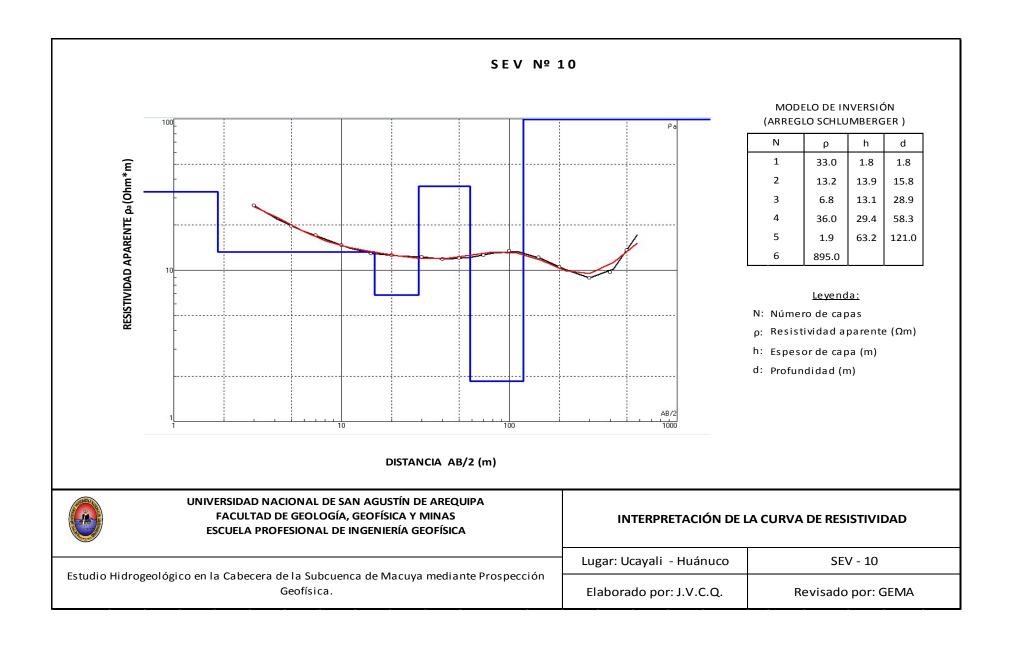


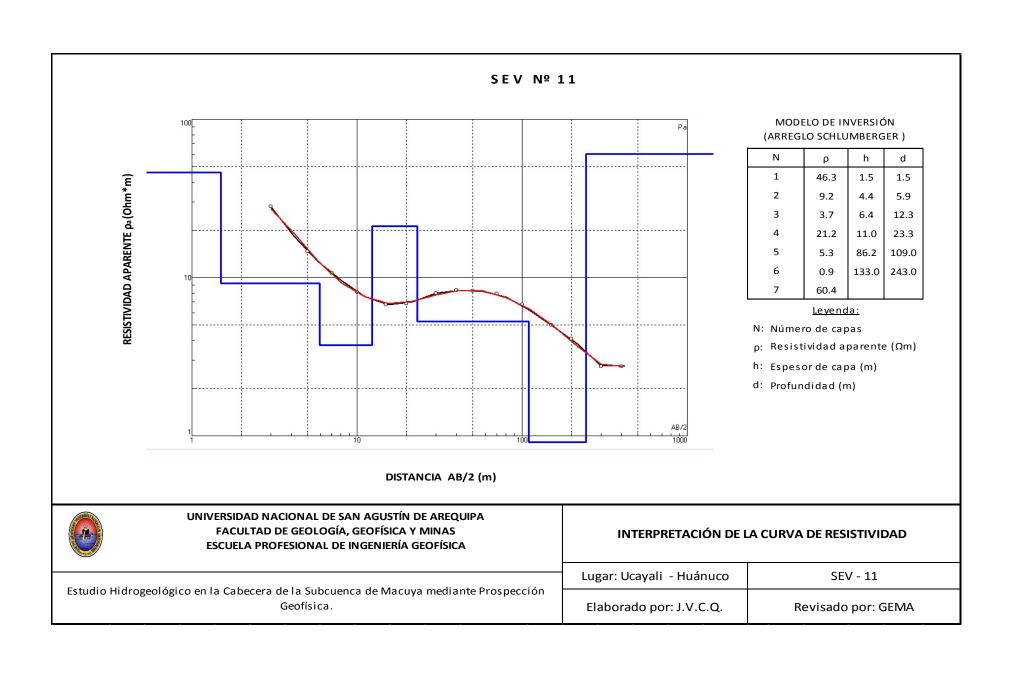












SEV Nº 12 RESISTIVIDAD APARENTE pa (Ohm*m) DISTANCIA AB/2 (m)

MODELO DE INVERSIÓN (ARREGLO SCHLUMBERGER)

N	ρ	h	d
1	18.1	2.0	2.0
2	24.5	2.1	4.0
3	6.7	44.1	48.1
4	1.1	53.3	101.0
5	402.0		

<u>Leyenda:</u>

N: Número de capas

 ρ : Resistividad aparente (Ω m)

h: Espesor de capa (m)

d: Profundidad (m)

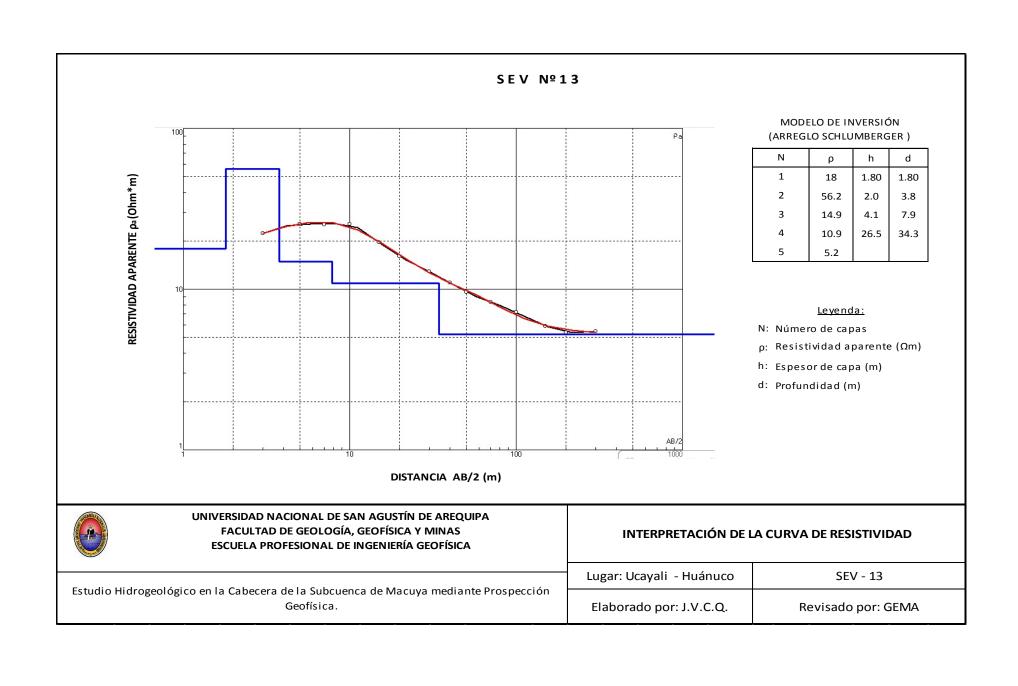


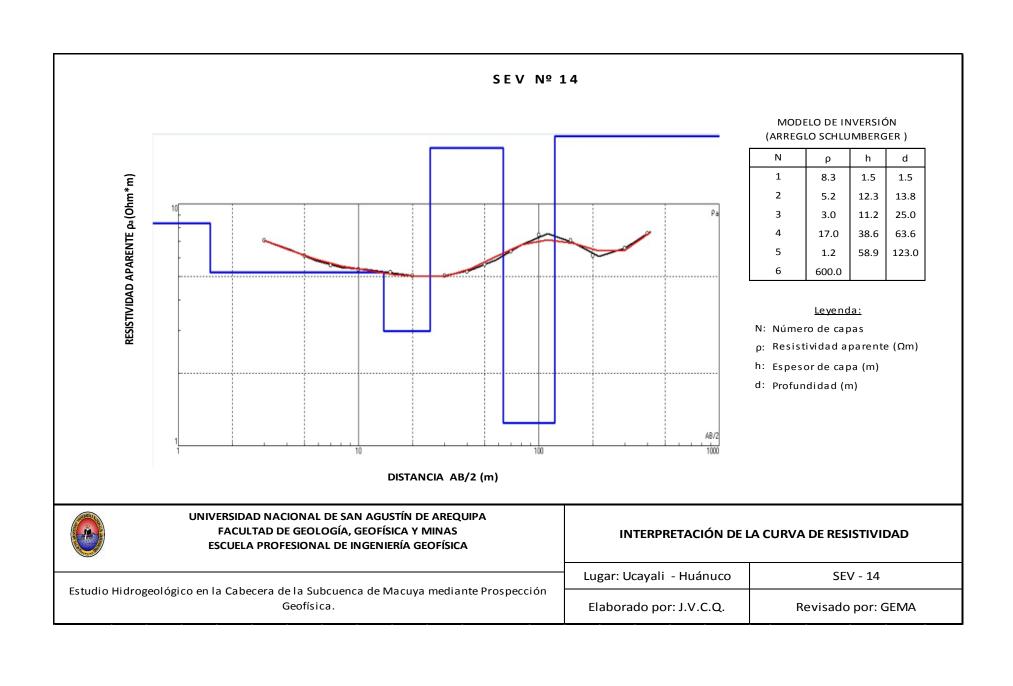
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

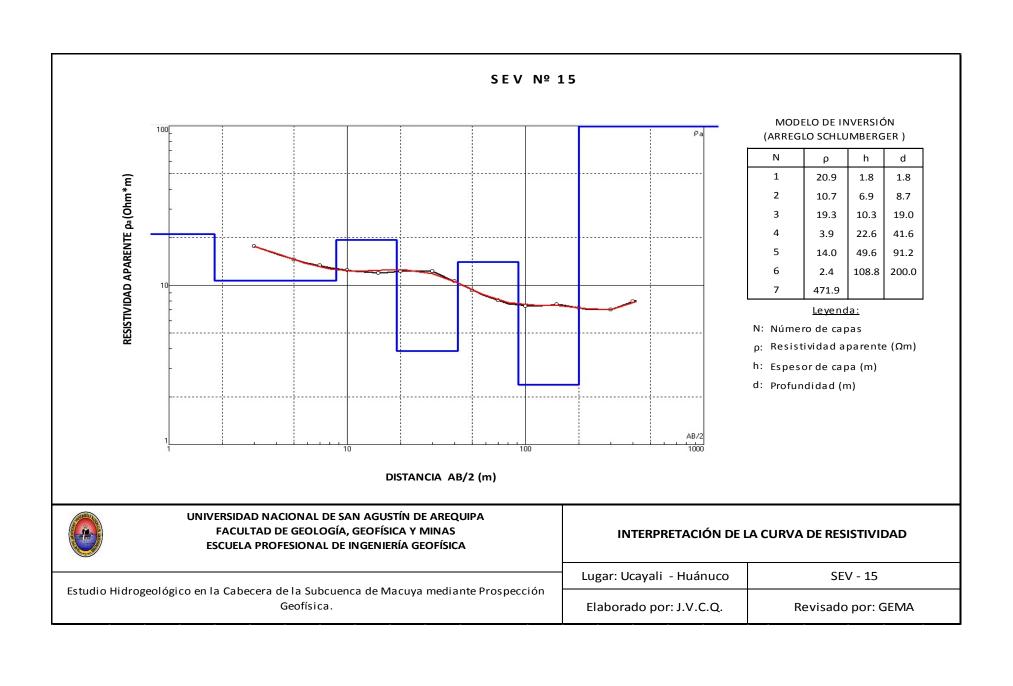
Estudio Hidrogeológico en la Cabecera de la Subcuenca de Macuya mediante Prospección Geofísica.

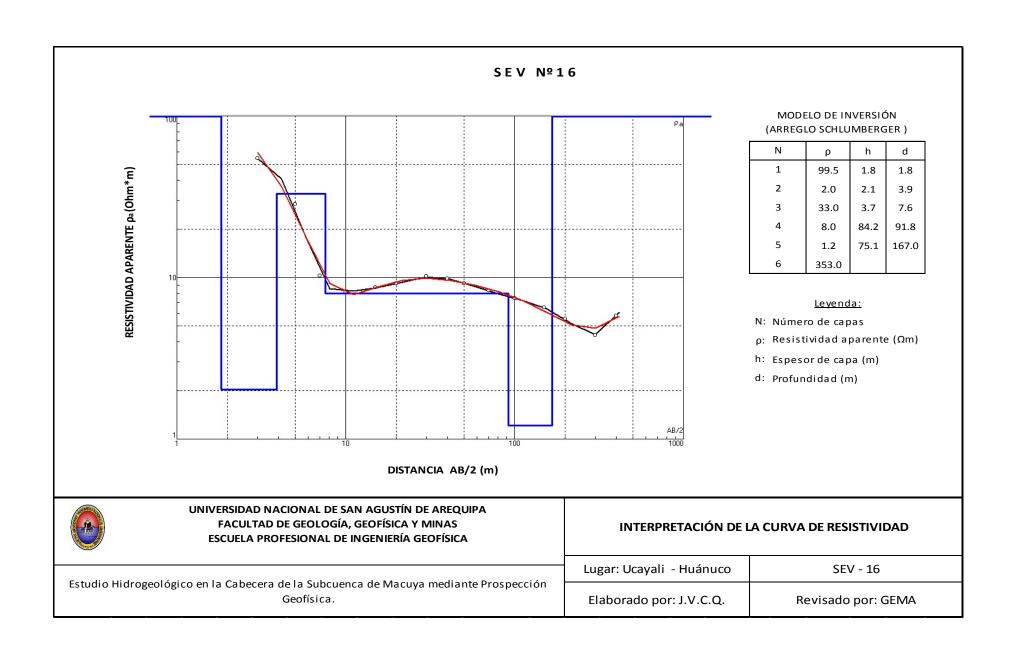
INTERPRETACIÓN DE LA CURVA DE RESISTIVIDAD

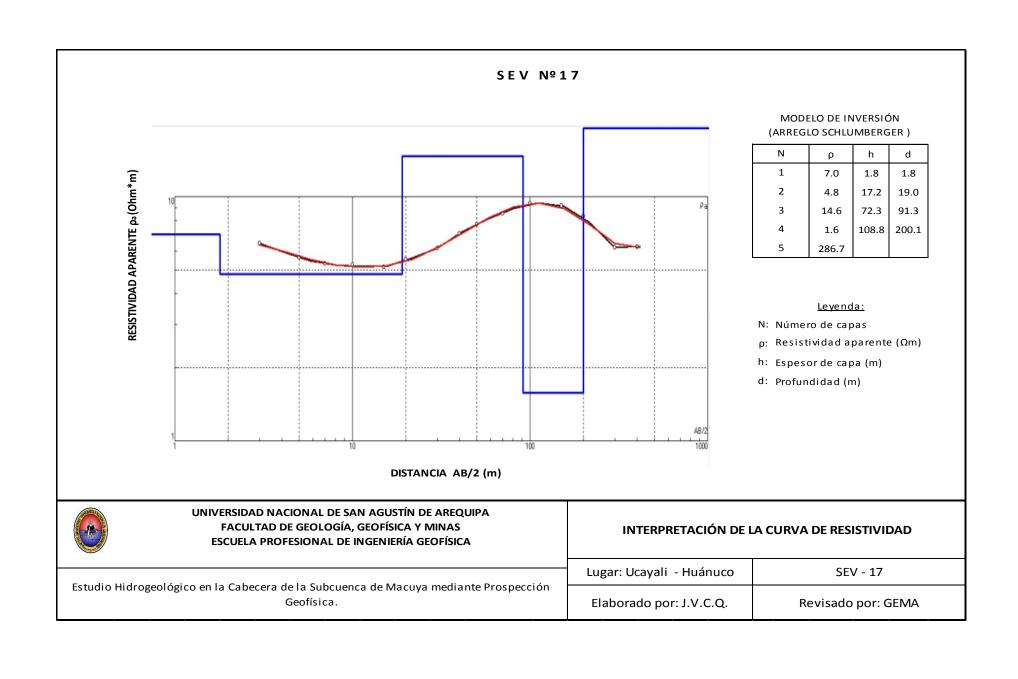
Lugar: Ucayali - Huánuco	SEV - 12
Elaborado por: J.V.C.Q.	Revisado por: GEMA

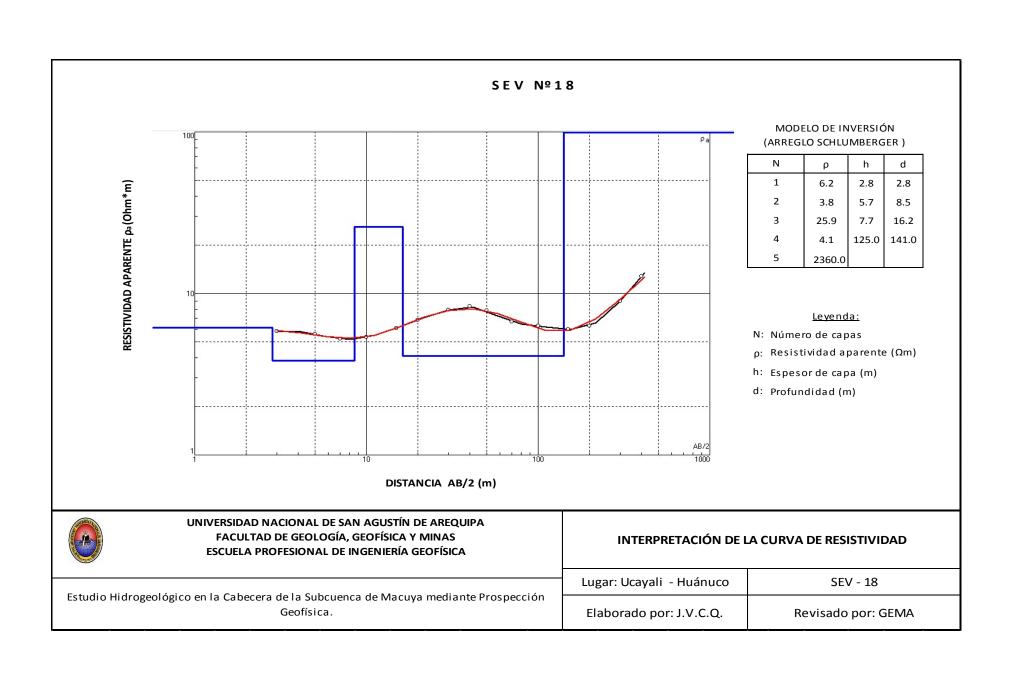


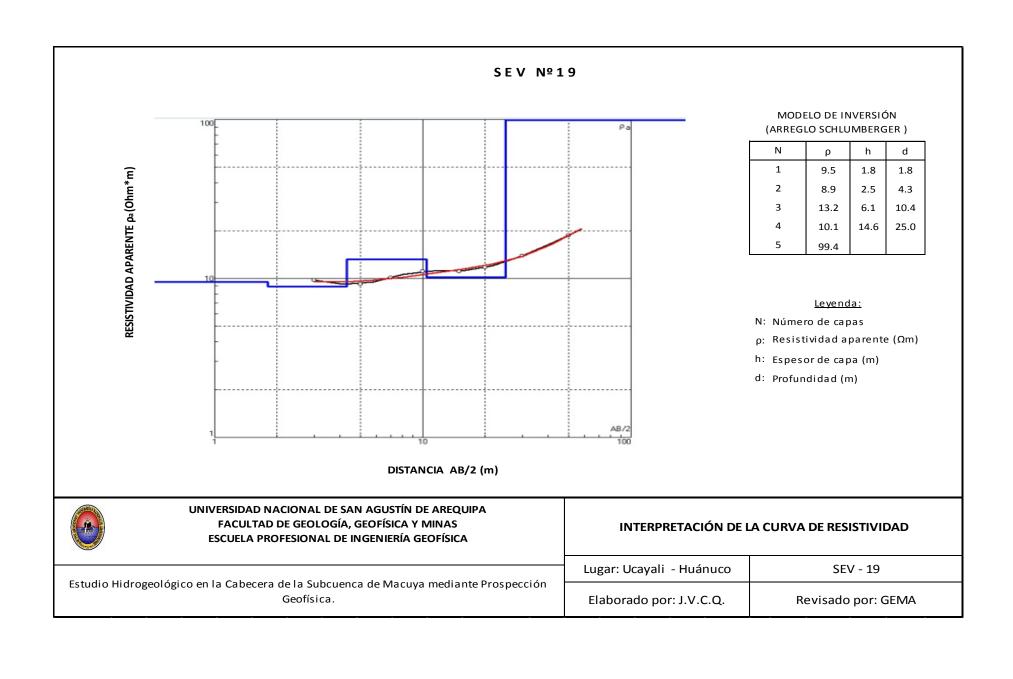












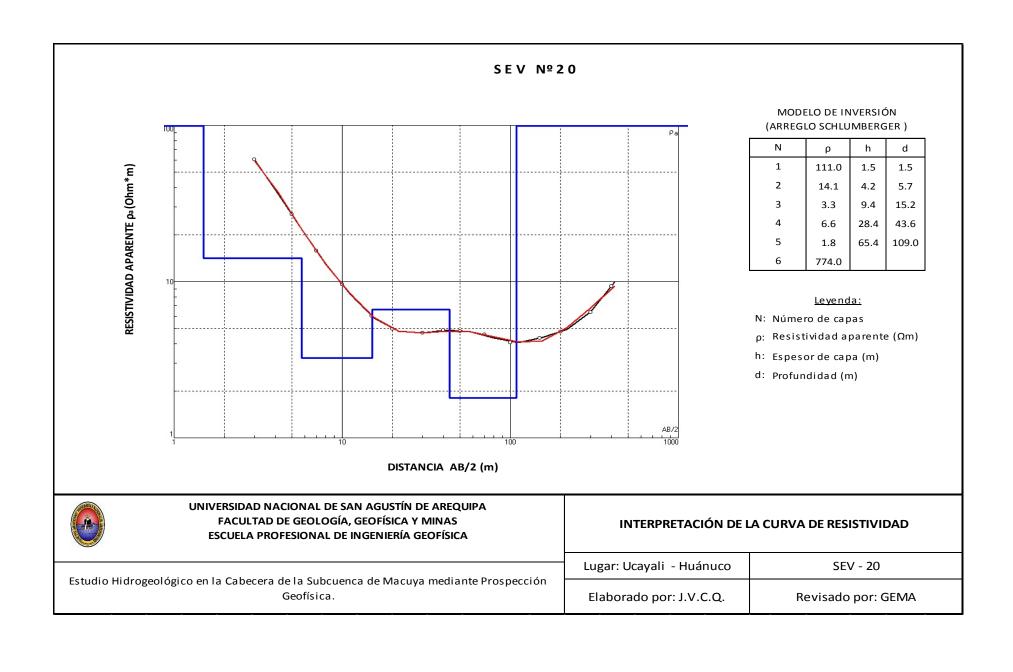




Foto 01.- Panorama general del nor oeste del área de estudio



Foto 02.- Ingreso al área de estudio por la zona Norte desde Corazón de Jesús



Foto 03.- Instalación del equipo para la toma de registro SEV

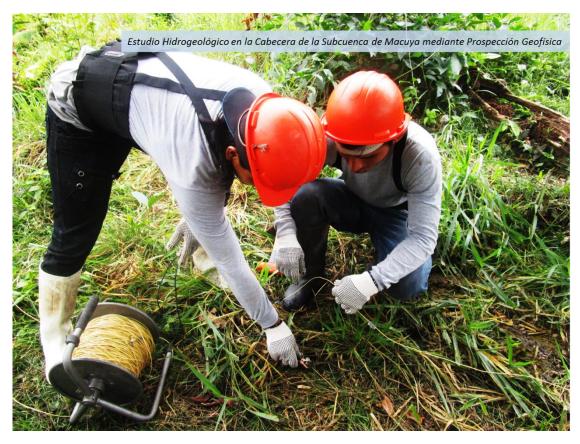


Foto 04.- Conexión de electrodo AB/2 al este del área de estudio



Foto 05.- Tendido de cables MN a 2.5 m y conexión de electrodo para el registro SEV 1



Foto 06.- Tendido de cables AB a 5 m para la toma de lectura del SEV 12



Foto 07.- Ejecución del registro SEV 4



Foto 08.- Traslado a la quebrada Selva alegre y ejecución del SEV 10



Foto 09.- Ejecución del SEV 3 en un sembrío de Cacao



Foto 10.- Vista Panorámica del Río Macuya en la zona centro del área de estudio



Foto 11.- Toma de muestras de calidad de agua de la quebrada Selva Alegre



Foto 12.- Aforo en la quebrada s/n 2 que vierte al rio Macuya