

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALURGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TITULO DE TESIS:

**“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO
KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE
RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA
OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA,
CHINCHERO, CUSCO”.**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO

AUTORES:

Br. Carlos Wiliam Huaman Sucso – Br. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela

ASESOR: Ing. Ronald Luis López Zapana

CUSCO PERU

2020

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO”.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Paulino y Cirila quienes supieron formarme e inculcarme en este camino de la ciencia con buenos hábitos, valores y su amor incondicional acompañándome en todo momento y que me ayudó en mantenerme firme ante toda circunstancia.

También lo dedico a mis hermanos Wilmer y Brayan quienes supieron acompañarme y brindándome su apoyo a lo largo de este trabajo y mi vida universitaria.

Carlos Wiliam Huaman Sucso

A mis padres Zonia Valenzuela Soel y Nicolas Quispe Miranda, por su amor y apoyo incondicional por que gracias a ellos soy un profesional y una persona de bien.

También a mis hermanos por su apoyo y aliento que siempre me dieron

Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres a enseñarnos el camino de la vida y siempre a seguir encaminando con sus sabios consejos para ser hombres de bien en la sociedad.

A nuestra alma mater Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por habernos permitido formarnos en sus prestigiosas aulas, compartiendo ilusiones y anhelos y seguir superándonos profesionalmente con constancia, dedicación y esfuerzo hasta alcanzar nuestras metas.

Al Centro Bartolomé de las Casas por darnos la oportunidad de investigar en las comunidades y sectores alrededor de su hermosa Laguna de Piuray en Chinchero; que mediante Juan Víctor, Ludwing, Nuria Frey y todos los amigos nos dieron su apoyo, consejos para empezar, culminar y seguir investigando.

A nuestro asesor Mgt. Ronald Luis López Zapana por su valiosa guía, enseñanza, asesoramiento constante y apoyo con las prospecciones indirectas durante esta investigación.

A la Sra. Braulia quien nos brindo Techo y alimentación durante el arduo trabajo de Campo; también a todos los hermanos y hermanas de la Comunidad de Cuper quienes permitieron y apoyaron durante las interminables salidas de campo.

Gracias a todo los amigos, compañeros, profesionales quienes apoyaron y acompañaron durante el presente estudio.

RESUMEN

La presente tesis titulada “ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA CHINCHERO, CUSCO” ubicado en el Distrito de Chinchero, Provincia de Urubamba y departamento del Cusco que hidrográficamente pertenece a la Microcuenca de Piuray parte a raíz de los problemas de déficit de agua y de mejorar la resiliencia en épocas de estiaje frente al cambio climático donde se planteó objetivos para entender el comportamiento del acuífero kárstico y la identificación de zonas de recarga artificial.

Mediante la caracterización Geomorfológica, Fisiográfica, Geológica, Estructural, Geofísica, Hidroquímica e Hidrogeológica del área investigada se obtuvo un entendimiento del acuífero kárstico de Pucamarca.

La zona de estudio comprende rocas Carbonatadas fracturadas y rocas sedimentarias de edad cretácica delimitadas por una falla inversa que controla el acuífero kárstico, a través del análisis de estaciones meteorológicas presenta una precipitación anual de 880.8 mm, una ETR de 454.34 mm y un excedente hídrico de 425.4 mm que se va hacia la escorrentía y la recarga del acuífero produciendo manantes de carácter estacional y permanentes clasificadas como episódicas y perennes los cuales producen una oferta hídrica anual para épocas de 1.99 l/s (62772.408 m³/año) en épocas de pluviosidad y de 1.071 l/s (33312.384 m³/año) con una disminución del 46.19 % de caudal. También se realizó ensayos geofísicos de tomografía eléctrica, análisis hidrogeoquímicos, ensayos de infiltración y análisis de fracturación para obtener el entendimiento del comportamiento del acuífero kárstico.

El estudio determino al acuífero como kárstico y fisurado con la identificación de 5 zonas para realizar métodos de recarga artificial por zanjas de infiltración con un área de 0.15 km².

INDICE

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1 Descripción del problema.....	1
1.1.2 Formulación del problema.....	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4.1 Hipótesis central.....	3
1.4.2 Hipótesis específicas	3
1.5 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5.1 Variable independiente.....	4
1.5.2 Variable dependiente	4
1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.6.1 Tipo de la investigación	5
1.6.2 Nivel de investigación	5
1.7 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	5
1.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	6
1.9 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.9.1 Gabinete I (pre campo).....	7

1.9.2	Campo I.....	7
1.9.3	Gabinete II.....	7
1.9.4	Campo II.....	7
1.9.5	Gabinete III.....	8
1.10	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.11	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	8
1.11.1	Ubicación política.....	8
1.11.2	Ubicación geográfica.....	8
1.11.3	Ubicación hidrográfica.....	9
	PLANO DE UBICACION	10
	CAPITULO II: MARCO TEORICO	11
2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	11
2.2	MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	12
2.2.1	GEOMORFOLOGIA REGIONAL.....	12
2.2.2	GEOLOGIA REGIONAL.....	16
2.2.3	GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	29
2.2.4	GEOFÍSICA.....	33
2.2.5	ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS	46
2.2.6	HIDROGEOQUÍMICA.....	51
	CAPITULO III: CARACTERIZACION GEOMORFOLOGICA	58
3.1	ASPECTOS GENERALES	58
3.2	ANALISIS DE PENDIENTES Y FISIOGRAFIA.....	58

3.3	GEOMORFOLOGIA LOCAL	63
3.3.1	Lomas	63
3.3.2	Laderas	64
3.3.3	Cono aluvial	67
3.3.4	Terrazas altas.....	68
3.4	PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS.....	71
3.4.1	Clasificación hidrográfica de la zona de estudio.....	71
3.4.2	Superficie.....	71
3.4.3	Elementos de distancia	71
3.4.4	Elementos de forma.....	72
3.4.5	Elementos de relieve	74
3.4.6	Declividad de los terrenos	75
3.4.7	Parámetros hidromorfométricos	76
	CAPITULO IV: CARACTERIZACION HIDROLOGICA	79
4.1	ASPECTOS CLIMATOLOGICOS	79
4.1.1	Red de estaciones meteorológicas.....	79
4.1.2	Precipitación.....	79
4.1.3	Temperatura.....	83
4.1.4	Calculo de evapotranspiración potencial (ETP).....	85
4.1.5	Calculo de evapotranspiración real (ETR)	86
4.1.6	Calculo del coeficiente de escurrimiento.	87

CAPITULO V: CARACTERIZACION LITOLOGICA Y ESTRUCTURAL	89
5.1 CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA	89
5.1.1 Formación Maras.....	89
5.1.2 Calizas Ayabacas.....	91
5.1.3 Formación Puquín	94
5.1.4 Quilque Chilca.....	95
5.2 CARACTERIZACION ESTRUCTURAL.....	98
5.2.1 Análisis estructural de la Formación Puquín.....	98
5.2.2 Análisis estructural de calizas	100
CAPITULO VI: GEOFISICA.....	111
6.1 ASPECTOS GENERALES	111
6.2 UBICACIÓN DE LAS SECCIONES DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	111
6.3 ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS SECCIONES GEOELECTRICAS ..	112
6.3.1 Sección de tomografía eléctrica 1	112
6.3.2 Sección de tomografía eléctrica 2	116
6.3.3 Sección de tomografía eléctrica 3	120
6.3.4 Sección de tomografía eléctrica 4	125
6.3.5 Sección de tomografía eléctrica 5	131
6.3.6 Sección de tomografía eléctrica	136
6.4 VISUALIZACION 3D DE LAS SECCIONES DE TOMOGRAFIA ELECTRICA	141
CAPITULO VII: CARACTERIZACION HIDROQUIMICA	143
7.1 PARAMETROS FISICOQUIMICOS	143
7.1.1 Temperatura.....	143

7.1.2	pH.....	143
7.1.3	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	144
7.1.4	TDS (ppm).....	145
7.2	HIDROGEOQUÍMICA DE LA QUEBRADA DE PUCAMARCA	148
7.2.1	Composición de las aguas subterráneas.	149
7.2.2	Clasificación y representación de las aguas subterráneas	152
7.2.3	Análisis de resultados	152
7.2.4	Interpretación de los datos.....	155
	CAPITULO VIII: HIDROGEOLOGIA.....	157
8.1	ASPECTOS GENERALES	157
8.2	IDENTIFICACIÓN Y AFORO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	157
8.2.1	Identificación de manantes y Captaciones	157
8.2.2	Aforo de manantes y captaciones	158
8.3	CLASIFICACION DE LOS MANANTES	160
8.4	PRUEBAS DE PERMEABILIDAD	163
8.4.1	Acuífero kárstico	167
8.4.2	Acuitardo Maras	167
8.4.3	Acuitardo Puquín.....	167
8.4.4	Acuitardo Quilque Chilca.....	167
8.4.5	Acuíferos porosos	168
8.4.6	Acuicludo Lacustre.....	168
8.5	ANALISIS DE FRACTURACION.....	168

8.6	BALANCE HIDROGEOLOGICO	169
8.6.1	Clasificación de áreas por litología	170
8.6.2	Infiltración efectiva	172
8.6.3	Calculo de capacidad de flujo de caudal en cada unidad de área clasificada....	172
8.7	SISTEMA HIDROGEOLOGICO	174
8.8	REGIMENES HIDROGEOLOGICOS	174
8.9	SECCIONES HIDROGEOLOGICAS	174
8.10	MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL	178
8.11	IDENTIFICACION DE ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL	180
8.12	OFERTA Y DEMANDA HIDRICA PARA CONSUMO HUMANO	184
8.12.1	Calculo de la oferta y demanda de agua para uso consumo humano.	184
	Conclusiones	186
	Recomendaciones.....	188
	Bibliografía.....	189
	ANEXOS	192

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1 Columna estratigráfica regional del Cretacico al Eoceno, resaltando el Grupo Yuncaypata y las Formaciones Quilque Chilca. Fuente: (Carlotto, 1992)	17
Ilustración 2.2 Columna estratigráfica de Calizas Ayabacas. Fuente: (CALLOT, 2008)	18
Ilustración 2.3 Mapa estructural regional de la zona de estudio	33
Ilustración 2.4 Métodos geoelectricos de prospección hidrogeológica. Fuente: (Auge, 2008)	35
Ilustración 2.5 Esquema del principio de resistividad.....	36
Ilustración 2.6 Valores de resistividades de diferentes rocas y minerales. Fuente: (Orellana Silva, 1982)	38
Ilustración 2.7 Resistividades de materiales geológicos y residuos. Modificada de Gasulla (1999). Fuente: (Zuñiga Lara, 2012)	39
Ilustración 2.8 Dispositivo tetraelectrodico para la medida de la resistividad del suelo.....	40
Ilustración 2.9 Arreglo Wenner. Con variación equidistante de AMNB. Fuente: (Gasulla Forner, 1999)	41
Ilustración 2.10 Arreglo Schlumberger. Los electrodos A, B se abren y M y N quedan fijos respecto a P. Fuente: (Gasulla Forner, 1999)	42
Ilustración 2.11 Esquema de conexión y funcionamiento de los equipos de tomografía eléctrica. Fuente: Manual del equipo.....	43
Ilustración 2.12 Esquema de adquisición de una ERT usando un arreglo Wenner.....	44
Ilustración 2.13 equipo DUK-2A y convertidor multicanal MIS-60. Fuente: Manual del equipo. ...	45
Ilustración 2.14 Variación de n, K y S con la profundidad. Fuente: (PULIDO BOSH, Principios de hidrogeologia karstica., 2014).....	48
Ilustración 2.15 Representación esquemática de los procesos hidrogeológicos. Fuente: Modificado de OFEFP 1998.....	50
Ilustración 2.16 Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Fuente: (PULIDO BOSH, 2014).....	55
Ilustración 2.17 Diagrama de Piper. Fuente: (PULIDO BOSH, 2014)	56

Ilustración 2.18 Diagramas de Stiff. Fuente: (PULIDO BOSH, 2014).....	57
Ilustración 3.1 Distribución de pendientes por Hectáreas y porcentajes. Fuente: Elaboración propia	59
Ilustración 3.2 Curva hipsométrica de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.	75
Ilustración 4.1 Tendencia de precipitación de las 3 estaciones base Fuente: Elaboración propia.	80
Ilustración 4.2 Comportamiento de precipitación mensual para la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.	83
Ilustración 4.3 Tendencia de temperatura de las 3 estaciones base. Fuente: Elaboración propia.	83
Ilustración 4.4 Comportamiento anual de la temperatura media mensual. Fuente: Elaboración propia.	85
Ilustración 4.5 Grafica de precipitación vs Evapotranspiración. Fuente: Elaboración propia.....	87
Ilustración 5.1 Roseta de fallas Puquín. Fuente: Elaboración Propia.	99
Ilustración 5.2 Roseta de fracturas Puquín, zona Este. Fuente: Elaboración propia.....	100
Ilustración 5.3 diagrama de orientaciones SE NW de fracturas. Fuente: Elaboración propia	101
Ilustración 5.4 Diagrama de orientaciones SW NE de fracturas. Fuente: Elaboración propia.	102
Ilustración 5.5 Roseta de fracturas de la estación 3. Fuente: Elaboración propia.....	103
Ilustración 5.6 Roseta de fracturas de la estación 4. Fuente: Elaboración propia.....	104
Ilustración 5.7 Roseta de fracturas de la estación 5. Fuente: Elaboración propia.....	105
Ilustración 5.8 Afloramientos de calizas fracturadas en la parte alta de la quebrada en el cuerpo AK1.	106
Ilustración 6.1 Ubicación de las líneas de tomografía eléctrica. Fuente: Elaboración propia	111
Ilustración 6.2 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.....	112
Ilustración 6.3 Proceso de corrección de topografía.	113
Ilustración 6.4 Proceso de inversión con un total de 2 iteraciones al 2.1% de error.....	113
Ilustración 6.5 ERT 1 método Wenner.....	113

Ilustración 6.6 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.....	114
Ilustración 6.7 Proceso de corrección de topografía	115
Ilustración 6.8 Proceso de inversión con un total de 7 iteraciones al 7.1% de error.....	115
Ilustración 6.9 ERT 1 método Wenner Schlumberger	115
Ilustración 6.10 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.....	117
Ilustración 6.11 Proceso de corrección de topografía	117
Ilustración 6.12 Proceso de inversión con un total de 1 iteración al 6.7% de error.	117
Ilustración 6.13 ERT 02 método Wenner.....	118
Ilustración 6.14 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.....	119
Ilustración 6.15 Proceso de corrección de topografía	119
Ilustración 6.16 Proceso de inversión con un total de 2 iteración al 5 % de error.	119
Ilustración 6.17 ERT 2 método Wenner.....	120
Ilustración 6.18 Evaluación y corrección de un punto espurio.	121
Ilustración 6.19 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.....	122
Ilustración 6.20 Proceso de inversión con un total de 1 iteración al 34.2 % de error.	122
Ilustración 6.21 ERT 3 método Wenner.....	123
Ilustración 6.22 Proceso de corrección de topografía	124
Ilustración 6.23 Proceso de inversión con un total de 1 iteración al 11.8 % de error.	124
Ilustración 6.24 ERT 3 método Wenner Schlumberger.	125
Ilustración 6.25 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.....	126
Ilustración 6.26 Proceso de corrección de topografía.	126
Ilustración 6.27 Proceso de inversión con un total de 4 iteraciones al 7.6 % de error.....	127
Ilustración 6.28 ERT 4 método Wenner.....	127
Ilustración 6.29 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.....	129
Ilustración 6.30 Proceso de corrección de topografía.	129

Ilustración 6.31 Proceso de inversión con un total de 5 iteraciones al 8 % de error.....	129
Ilustración 6.32 ERT 04 método Wenner Schlumberger	130
Ilustración 6.33 Proceso de corrección de topografía.	132
Ilustración 6.34 Proceso de inversión con un total de 5 iteraciones al 7.5 % de error.....	132
Ilustración 6.35 ERT 5 método Wenner.....	133
Ilustración 6.36 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.....	134
Ilustración 6.37 Proceso de corrección de topografía.	134
Ilustración 6.38 Proceso de inversión con un total de 1 iteraciones al 6.8 % de error.....	135
Ilustración 6.39 ERT 5 método Wenner Schlumberger	135
Ilustración 6.40 Proceso de corrección de topografía	137
Ilustración 6.41 Proceso de inversión con un total de 3 iteraciones al 6.1 % de error.....	137
Ilustración 6.42 ERT 6 método Wenner.....	138
Ilustración 6.43 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.....	139
Ilustración 6.44 Proceso de corrección de topografía	139
Ilustración 6.45 Proceso de inversión con un total de 3 iteraciones al 6.6 % de error.....	140
Ilustración 6.46 ERT 1 método Wenner Schlumberger.	140
Ilustración 6.47 vista 3D de las secciones de tomografía Método Wenner. Fuente: Elaboración propia.	142
Ilustración 6.48 vista 3D de las secciones de tomografía Método Wenner Schlumberger. Fuente: Elaboración propia.	142
Ilustración 7.1 Diagrama comparativo para temperatura. Fuente: Elaboración propia.....	143
Ilustración 7.2 Diagrama comparativo para pH. Fuente: Elaboración propia.....	144
Ilustración 7.3 Diagrama comparativo para CE. Fuente: Elaboración propia.....	145
Ilustración 7.4 Diagrama comparativo para TDS. Fuente: Elaboración propia	145

Ilustración 7.5 Representación en el diagrama de Stiff de las 11 muestras. Fuente: Elaboración propia	153
Ilustración 7.6 Representación de las 11 muestras en el diagrama de Schoeller Berkaloff. Fuente: Elaboración propia	154
Ilustración 7.7 Representación de las muestras en el diagrama de Piper. Fuente: Elaboración propia.	155
Ilustración 8.1 Comportamiento hidrométrico de los manantes y captaciones. Fuente: Elaboración propia.	162
Ilustración 8.2 Mapeo de Fracturas	165
Ilustración 8.3 Cuadro de clasificación de acuíferos según Benítez (1963).	166
Ilustración 8.4 Levantamiento de imágenes aéreas con drone	169
Ilustración 8.5 Fracturas kársticas en la parte alta de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia	169
Ilustración 8.6 Unidades litológicas. Fuente: Elaboración propia.....	170
Ilustración 8.7 perfil en un corte de antigua cantera en el cuerpo kárstico 3 AK3. Fuente: Elaboración propia.	181
Ilustración 8.8 Perfiles en el cuerpo AK2 con variaciones de 0.2 a 0.5 m máximo de suelos cuaternarios. Fuente: Elaboración propia.....	181
Ilustración 8.9 Esquema de una zanja de infiltración. Fuente: Propia.	182

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 0.1 Vista de la quebrada Pucamarca con afloramientos de calizas.....	9
Fotografía 2.1 Formación Maras en contacto con Calizas Ayabacas.....	19
Fotografía 2.2 Cantera de Pucamarca, calizas fracturadas con niveles de margas por el contacto con el agua.	21
Fotografía 2.3 Nivel M2 de la Formación Puquín con intercalaciones de lutitas oscuras	22
Fotografía 2.4 Contacto con lutitas Chilca y depósitos de la Formación Maras en el cerro Llutopuquio, parte este de la quebrada de Pucamarca.	24
Fotografía 2.5 Microconglomerados subredondeados de la Formación Quilque en contacto con el techo de la Formación Puquín.....	25
Fotografía 2.6 Lutitas rojas de las Formaciones Quilque y Chilca al norte de la Laguna de Piuray en el cerro Llutopuquio.....	25
Fotografía 2.7 Formación Quilque y Chilca al NW de la Laguna de Piuray	26
Fotografía 2.8 minerales de Malaquita, Azurita y crisocola encontrados en las formaciones Quilque y Chilca	27
Fotografía 2.9 Vista del cono aluvial del poblado de Pucamarca	28
Fotografía 2.10 electrodos.....	45
Fotografía 2.11 Conexión de la batería a resistivímetro.	46
Fotografía 2.12 Proceso de karstificación por la disolución de los carbonatos en calizas Ayabacas de la zona de estudio.....	47
Fotografía 3.1 Etapa de levantamiento topográfico con estación total TOPCOM.....	58
Fotografía 3.2 Laderas fuertemente empinadas de calizas. Se observa la fracturación y formas exokársticas como los lapiaces	64
Fotografía 3.3 Cavernas de origen por disolución kárstica encontrado en esta unidad geomorfológica	65

Fotografía 3.4 Forma exokársticas Lapiaz	66
Fotografía 3.5 Cono aluvial de Pucamarca, vista con dirección hacia la quebrada.	67
Fotografía 3.6 Dolina por subsidencia ubicada hacia el oeste de la zona de estudio	68
Fotografía 3.7 Terrazas sobre formaciones sedimentarias y suelos residuales de origen de lutitas...	69
Fotografía 5.1 Depósitos de Lutitas y arcillas cubiertos por vegetación en corte de carretera con composición de depósitos Maras	90
Fotografía 5.2 Niveles de calizas de poco espesor plegadas y fracturadas con humedad debajo de depósitos limo arcillosos	91
Fotografía 5.3 Cantera de Pucamarca.....	92
Fotografía 5.4 Cantera antigua cubierto por cubiertas edáficas de poco espesor.....	93
Fotografía 5.5 Niveles de brechas de fragmentos de calizas con matriz carbonatada	93
Fotografía 5.6 Afloramientos de calizas con mayor grado de fracturamiento	94
Fotografía 5.7 Lutitas de la Formación Puquín.....	95
Fotografía 5.8 Microconglomerados con clastos de lutita	96
Fotografía 5.9 Afloramientos Quilque Chilca conocido como Formación Ausangate en otros cuadrángulos.	96
Fotografía 6.1 Ubicación e instalación de la ERT – 1.....	112
Fotografía 6.2 Ubicación e instalación de la ERT – 2.....	116
Fotografía 6.3 Ubicación e instalación de la ERT – 3.....	121
Fotografía 6.4 Ubicación e instalación de la ERT – 4.....	126
Fotografía 6.5 Ubicación e instalación de la ERT – 5.....	131
Fotografía 6.6 Ubicación e instalación de la ERT – 6.....	136

INDICE DE TABLAS

Tabla 0.1 tabla de instrumentos y equipos utilizados en cada etapa.	5
Tabla 0.2: Ubicación política	8
Tabla 0.3: Ubicación geográfica	8
Tabla 0.4: Ubicación hidrográfica.....	9
Tabla 2.1 clasificación de huecos y tipos de porosidad	49
Tabla 3.1 Distribución de pendientes de la zona de estudio.	59
Tabla 3.2 Unidades fisiográficas de la zona de estudio	60
Tabla 3.3 Descripción de unidades geomorfológicas a escala local.	63
Tabla 3.4 Rangos por área de unidades geográficas	71
Tabla 3.5 Tabla de valores de compacidad	72
Tabla 3.6 Rangos aproximados del factor forma	73
Tabla 3.7 Tabla de datos para el cálculo de los elementos de relieve	74
Tabla 3.8 Tabla de valores de declividad de terrenos	75
Tabla 3.9 Orden y longitud de drenaje	76
Tabla 4.1 Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio	79
Tabla 4.2 Regionalización de la precipitación y la altitud de las 3 estaciones.....	81
Tabla 4.3 Formulas y valores de regresión.....	81
Tabla 4.4 Regionalización para cotas del área de estudio.....	81
Tabla 4.5 Precipitación mensual de la zona de estudio.....	82
Tabla 4.6 Temperaturas medias de las estaciones y parámetros de regionalización de temperatura.	84
Tabla 4.7 Temperatura media mensual respecto a la altura	84
Tabla 4.8 Evapotranspiración potencial según Thornthwaite	85
Tabla 4.9 valores de Evapotranspiración potencial para cada cota de la zona de estudio.	86
Tabla 4.10 coeficientes de escurrimientos y excedente hídrico para cada altitud.....	88

Tabla 5.1 Fallas normales Puquín	98
Tabla 5.2 Datos de dirección de fallas en la formación Puquín	99
Tabla 5.3 Datos de dirección de fracturas Puquín hacia el Este de la zona de estudio	99
Tabla 5.4 Caracterización de direcciones de fracturas en la zona de la Cantera de Pucamarca.	100
Tabla 5.5 Datos de dirección de fracturas estación 2	101
Tabla 5.6 Datos de dirección de fracturas de calizas de la estación 3.....	102
Tabla 5.7 Datos de dirección de calizas de la estación 4	103
Tabla 5.8 Datos de dirección de calizas de la estación 5	104
Tabla 7.1 Parámetros fisicoquímicos	147
Tabla 7.2 Resultado de valores de composición química y fisicoquímicos de laboratorio muestreadas en la zona de estudio.	150
Tabla 7.3 Cuadro de concentración iónica en porcentajes	151
Tabla 7.4 Clasificación geoquímica de las aguas por Iones dominantes del acuífero kárstico del sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco en mg/l.	152
Tabla 8.1 Inventario de manantes y captaciones	157
Tabla 8.2 Caudales medidos con comparación de datos del año 2013.	159
Tabla 8.3 Tabla de Caudales durante el año 2019 tomadas en 2 épocas.....	161
Tabla 8.4 Cuadro de permeabilidades en formaciones Maras y depósitos sedimentarios	163
Tabla 8.5 Cuadro de permeabilidades en la Formación Ayabacas (fracturas).....	164
Tabla 8.6 Estimación de permeabilidad a partir de datos de valoración rocosa.	166
Tabla 8.7 Clasificación de unidades hidrogeológicas	168
Tabla 8.8 Clasificación de los polígonos litológicos.....	170
Tabla 8.9 Valores de precipitación, ETP, ETR en base a las cotas.....	171
Tabla 8.10 Calculo de infiltración efectiva o recarga aproximada por cada área.	172
Tabla 8.11 Capacidad de flujo de agua por unidad de área.....	173

Tabla 8.12 Áreas y perímetros de las de recarga artificial	182
Tabla 8.13 Demanda poblacional	184
Tabla 8.14 Oferta de los manantes	184

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Descripción del problema

La quebrada de Pucamarca está comprendida dentro de la microcuenca Piuray-Corimarca y existe poca disponibilidad de este recurso donde esta zona se caracteriza por estar sobre rocas carbonatadas (calizas) diferentes a otras quebradas que están comprendidas dentro de la microcuenca, los cuales están sobre rocas sedimentarias detríticas.

Ante la creciente demanda por causa del crecimiento poblacional y los futuros problemas que surgirá con el cambio climático, pone en preocupación a la población e instituciones sobre la disponibilidad de este recurso y surge la necesidad de mejorar con infraestructuras de captación, almacenaje o métodos de recargas de los acuíferos kársticos que se encuentran en la parte alta de la quebrada de Pucamarca para mejorar la disponibilidad y aumentar la resiliencia en épocas de estiaje

Los estudios hidrológicos, hidrogeológicos y las medidas de conservación del agua que vienen realizando instituciones como SEDACUSCO y Organizaciones no gubernamentales tienen como enfoque la partes de la microcuenca que están comprendidas de rocas sedimentarias detríticas como areniscas y lutitas, mas no de la quebrada de Pucamarca del cual no se conocen bien los acuíferos kársticos fisurados.

El trabajo de investigación se enfoca en el acuífero kárstico comprendido en la quebrada de Pucamarca, asimismo pretende ser el punto de partida para futuras investigaciones y monitoreos por parte de instituciones públicas, privadas y la población, por ello se plantea realizar a detalle las características geológicas, geomorfológicas, estructurales, hidrogeológicas, hidrológicas, hidrometeorológicas y para obtener una información más precisa del subsuelo será necesario

ejecutar métodos indirectos de prospección geofísica que permita conocer el comportamiento de la estructura del acuífero kárstico en el presente trabajo de tesis.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Pregunta general

- ¿Cómo determinar zonas de recarga artificial del acuífero kárstico e incrementar la oferta hídrica del sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco?

1.1.2.2 Preguntas específicas

- ¿Cuáles son las características geológicas y estructurales del acuífero kárstico en el sector de Pucamarca, Chinchero Cusco?
- ¿Cuáles son las características hidroquímicas y fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la quebrada de Pucamarca?
- ¿Cómo es la estructura del acuífero kárstico del sector de Pucamarca, Chinchero Cusco?
- ¿Cuál es el comportamiento hidrogeológico del acuífero kárstico del sector de Pucamarca Cusco?
- ¿Cuáles son las zonas de recarga artificial del acuífero kárstico?

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

- Determinar zonas de recarga artificial del acuífero kárstico fisurado para incrementar la oferta hídrica en el sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las características geológicas y estructurales del acuífero kárstico del sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco.

- Caracterizar los parámetros hidroquímicos de las aguas subterráneas de la quebrada de Pucamarca, Chinchero, Cusco.
- Determinar las estructuras del acuífero kárstico por métodos indirectos de prospección geofísica de tomografía de resistividad eléctrica (ERT).
- Determinar el comportamiento hidrogeológico del acuífero kárstico.
- Identificar zonas de recarga artificial del acuífero kárstico del sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se justifica porque es necesario conocer el comportamiento del acuífero kárstico de Pucamarca y mejorar la oferta hídrica ya que es el único espacio por donde se emplazan estos materiales carbonatados en comparación al resto de quebradas y zonas de recarga con composición de rocas detríticas de la Microcuenca de Piuray, de esta manera servirá para la inversión de proyectos de recuperación de recursos eco sistémicos mediante los mecanismo de servicios de retribución por el uso de las aguas de la Laguna de Piuray para la ciudad de Cusco que tiene como plan la empresa prestadora de servicios SEDACUSCO en convenio con instituciones públicas y privadas.

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Hipótesis central

- Mediante la determinación de las condiciones hidrogeológicas del acuífero kárstico en el sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco se definen las zonas de recarga artificial conducentes que incrementara la oferta hídrica.

1.4.2 Hipótesis específicas

- Mediante el levantamiento geológico se determina las características geológicas y estructurales del acuífero kárstico del sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco.

- Mediante ensayos de laboratorio y campo se determinan las características hidroquímicas de las aguas subterráneas que contribuyen al conocimiento de la circulación de estas por el medio litológico de la estructura del acuífero kárstico.
- Mediante los métodos indirectos de prospección geofísica de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) se definen las estructuras del acuífero kárstico.
- Mediante un estudio hidrogeológico se define el comportamiento del acuífero kárstico.
- A través de la superposición ponderada de mapas se identifican zonas de recarga artificial del acuífero kárstico del sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco.

1.5 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Variable independiente

- Geomorfología
- Geología
- Geología estructural
- Hidrología
- Hidrogeología
- Hidrometeorología.

1.5.2 Variable dependiente

- Régimen de aguas subterránea
- Sistemas subterráneos
- Modelo hidrogeológico
- Zonas de recarga artificial

1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Tipo de la investigación

De acuerdo al propósito de la investigación y los objetivos planteados en el trabajo, el estudio pertenece a un tipo de investigación “básica” y “aplicada” (Caballero Romero, 2014) porque se direcciona a ampliar y conocer el conocimiento sobre el comportamiento del acuífero kárstico en la quebrada de Pucamarca, para luego determinar zonas de recarga artificial e incrementar la oferta hídrica.

1.6.2 Nivel de investigación

Según Caballero Romero (2014) el nivel de la investigación es de carácter descriptivo y correlacional (pág. 41); ya que es necesario describir y analizar las características del acuífero kárstico para luego correlacionar con el comportamiento de los manantes en un determinado tiempo.

1.7 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la toma de datos se los instrumentos descritos en el siguiente tabla 1.1:

Tabla 0.1 tabla de instrumentos y equipos utilizados en cada etapa.

Etapa	Instrumentos o equipo	Marca
Gabinete I (pre campo)	Laptop	Asus, HP
Campo I	Brújula Picota GPS Estación total, GPS diferencial Multiparametro Cámara fotográfica Balde con medidor de capacidad de volumen Cronometro Tableros, plumones, etc.	Brunton Stwing Garmin, oregon Topcom Hanna Canon Basa
Gabinete II	Laptop Multiparametro	Asus, HP Hanna

Campo II	GPS Picota Tomógrafo eléctrico Cinta métrica 50m, flexómetro 5m Tubos PVC de 2” Cíncel Cámara fotográfica Balde con medidor de capacidad de volumen Cronometro Tableros, plumones, etc.	Garmin Stwing DUK-2A Stanley Canon Basa
Gabinete III	Laptops	ASUS, HP

Fuente: Elaboración propia

1.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Para realizar la presente investigación se usó diversas técnicas de procesamiento de datos en cada etapa de campo y gabinete:

En la etapa gabinete I (pre campo) se hizo el uso de software como SAS planet y Google Earth para la descarga y el cartografiado de imágenes y modelos de elevación a alta resolución y posterior generación de mapas base.

En la etapa de gabinete II los datos de levantamiento topográfico y cartografiado, aforos de manantes fueron procesados cuidadosamente en hojas de cálculo para la posterior elaboración de una base de datos y su interpretación en modelos de elevación reales; los datos fisicoquímicos fueron migrados a través del software HI929829 del multiparametro Hanna y posterior procesamiento en hojas de cálculo Excel. Para le generación de diagramas hidrogeoquímicos se usó los software Diagrammes y Aquachem.

En la etapa de gabinete III, los datos de permeabilidad, aforos fueron procesados en hojas de cálculo exel y los datos de resistividades aparentes de la tomografía eléctrica se procesó en el software GEOGIGA RIMAGER con correcciones de datos espurios y seguidamente obtener resistividades reales para la interpretación de las secciones. En esta etapa final se usó software como GIS, CAD, y otros para la integración e interpretación de los resultados de la investigación.

1.9 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

1.9.1 Gabinete I (pre campo)

Esta etapa preliminar fue el punto de partida para poder recopilar información existente relacionada a la zona de estudio, como son los informes e investigaciones anteriores y descarga de imágenes satelitales a alta resolución para realizar el reconocimiento de la zona en una posterior etapa de campo.

1.9.2 Campo I

En esta etapa se realizó en varias campañas, realizándose trabajos como:

- Instalación de puntos geodésicos y levantamiento topográfico de la zona de estudio.
- Cartografiado geológico y estructural.
- Aforo de manantes y captaciones en épocas de avenida (febrero – Abril).
- Medida de datos fisicoquímicos.

1.9.3 Gabinete II

Procesamiento de los datos tomados en la etapa anterior, para su análisis preliminar y generación de mapas y cuadros en base a la data existente para una segunda etapa de recolección de datos.

1.9.4 Campo II

Esta etapa se realizó en varias campañas en las cuales se mencionan las siguientes actividades:

- Aforo de manantes y captaciones en épocas de estiaje
- Cartografiado geológico
- Ensayos de permeabilidad
- Ensayos de tomografía eléctrica

1.9.5 Gabinete III

Esta es la etapa final de procesamiento, interpretación y análisis de los datos obtenidos para la elaboración del informe final de la tesis de investigación.

1.10 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

No se pudo realizar el análisis químico de totales disueltos ni isotópicos de las muestras de agua para poder obtener correlaciones confiables entre los manantes y captaciones de la quebrada de Pucamarca.

Por presentar un área pequeña el área de investigación los datos hidrometeorológicos se generaron a una escala generalizada.

1.11 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

1.11.1 Ubicación política

El área de investigación se encuentra en:

Tabla 0.2: Ubicación política

SECTOR	COMUNIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
Pucamarca	Cuper	Chinchero	Urubamba	Cusco

1.11.2 Ubicación geográfica

Geográficamente pertenece a:

Tabla 0.3: Ubicación geográfica

SECTOR	COORDENADAS GEOGRAFICAS		COORDENADAS UTM		ALTITUD
	LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE	m.s.n.m.
Pucamarca	13°24'33"	72°02'21"	820652	8515670	3715

1.11.3 Ubicación hidrográfica

Hidrográficamente se encuentra en:

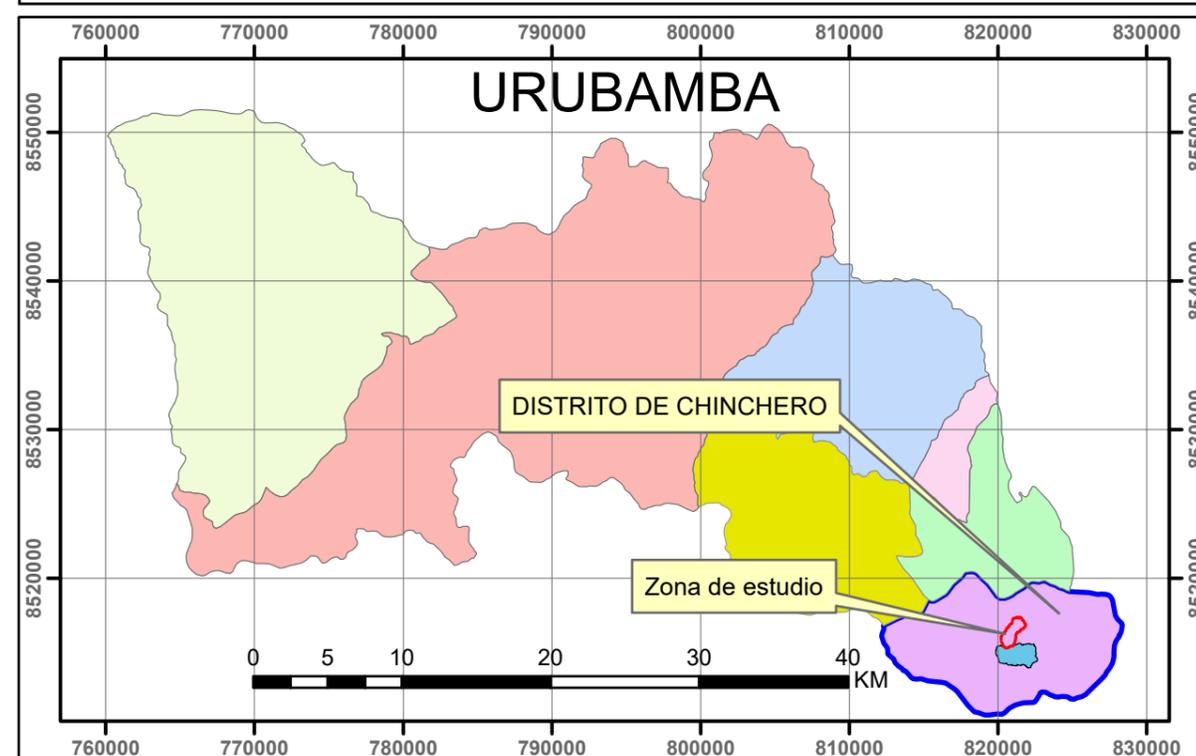
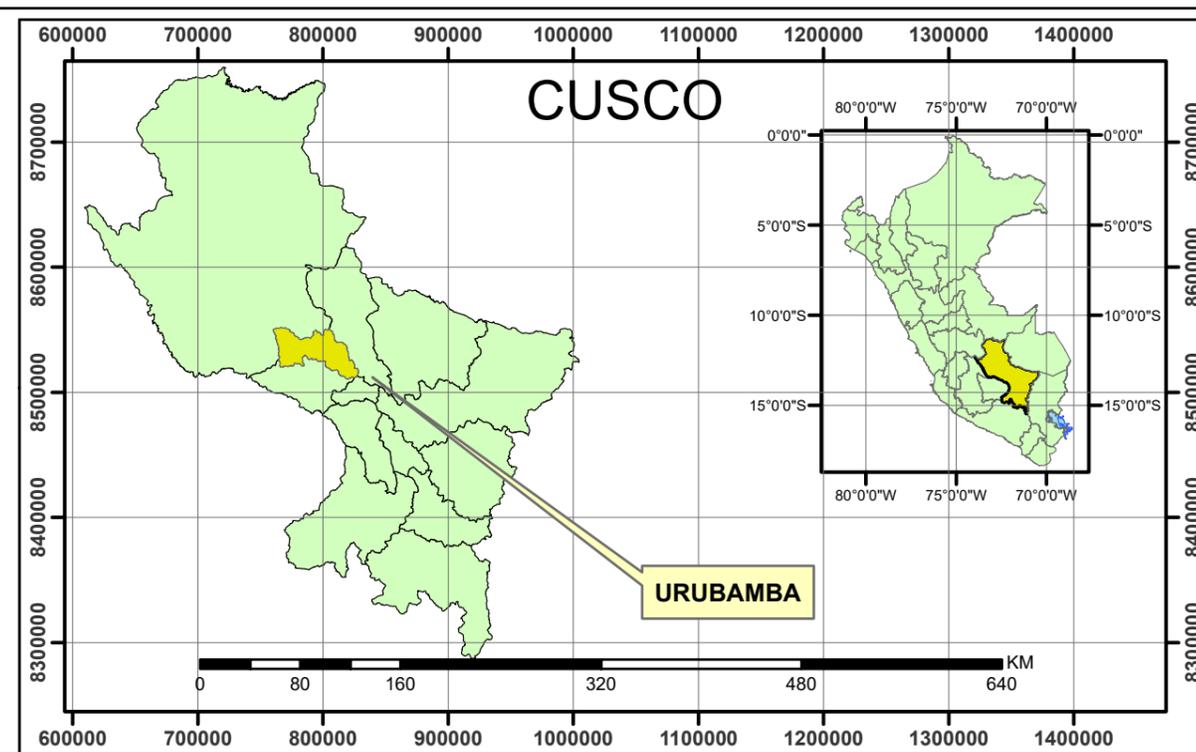
Tabla 0.4: Ubicación hidrográfica

UNIDAD	NOMBRE
QUEBRADA	Pucamarca
MICROCUENCA	Piuray
SUBCUENCA	Hatunmayo
CUENCA	Urubamba
GRAN CUENCA	Amazonas
VERTIENTE	Atlántico

Fotografía 0.1 Vista de la quebrada Pucamarca con afloramientos de calizas.



Fuente: Propia.



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
PLANO:		UBICACION	
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETRMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"			
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM:	19 S WGS 84
PROVINCIA:	URUBAMBA	ELABORADO:	Bch. Carlos William Huaman Susco Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela
DISTRITO:	CHINCHERO	Asesor:	Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana
COMUNIDAD:	CCAMU - PUCAMARCA	FECHA:	Enero 2020
		ESCALA:	1:20000
			P-01

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Para el presente trabajo de tesis se revisó información de estudios antecedentes relacionados al enfoque de la investigación en la microcuenca de Piuray, a continuación se describen los trabajos consultados:

- (GUAMAN POMA DE AYALA, 2013). Estudio del plan de gestión integral de recursos hídricos de la microcuenca de la laguna de Piuray. Cusco. Diagnostico técnico, en este trabajo se realizó estudios geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos con resultados de balances hídricos para la Microcuenca Piuray Corimarca, es el único estudio en donde presenta datos específicos de la zona de estudio tales como aforos de manantes, datos fisicoquímicos y una descripción geológica somera para el año 2013.
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHINCHERO. (2015). PLAN DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE CHINCHERO 2016-2025. CHINCHERO. Memoria descriptiva que ofrece una propuesta de ordenamiento urbano y territorial de la estructura físico-espacial de la ciudad de chinchero y de sus relaciones funcionales con zonas cercanas, como parte del proyecto de importancia para la investigación realizo levantamientos topográficos para el desarrollo urbano en lugares de Allpachaca, Ccamu y Pucamarca pueblo.
- (INGEMMET, 2013). Neo tectónica y peligro sísmico en la Región Cusco. En este trabajo describe el régimen y la cinemática del sistema de fallas Qoricocha.
- (Taipe Maquerhua, 2016). MONITOREO GEODÉSICO DE FALLAS ACTIVAS EN LA REGIÓN CUSCO. En este informe se realizó descripción del sistema de fallas Qoricocha que pasa por la zona de estudio en dirección Este a Oeste.
- (INGEMMET, 1996). Memoria descriptiva de los cuadrángulos de Calca y Urubamba, describe la geología regional a escala 1:100000 de la zona.

- (INGEMMET, 2011), Memoria descriptiva de la hoja 28-s del cuadrángulo de Cusco actualizada a una escala de 1: 50000, en donde describe la geología de las unidades estratigráficas del Grupo Yuncaypata que poseen las mismas características a las que se encuentra en la zona de estudio.

2.2 MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.2.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

La Geomorfología es la rama de la Geografía Física que describe y clasifica las formas del relieve desde sus características físicas, según su formación comprendiendo aspectos litológicos, climáticos e hídricos que intervienen en la formación del relieve. La geomorfología describe estas formas del relieve e intenta explicar dichas formas en su evolución y los procesos de modelado que han acontecido al igual que su estado en el que se encuentran en la actualidad.

La geomorfología es el estudio del relieve y su importancia reside en su relación con los diferentes fenómenos naturales y las actividades humanas. Tiene por objetivo conocer la forma o relieve del terreno, su formación y evolución, que influyen en el paisaje y en los de peligros geológicos como deslizamientos, huaycos, inundaciones y erosiones.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la parte centro sur del Perú, en la región andina, en la zona de transición entre la cordillera occidental y la cordillera oriental, situándose más sobre la oriental.

La clasificación morfo estructural en la zona de estudio se desarrolla mediante las características geológicas como son las diferentes formaciones geológicas de edad mesozoica a cenozoico, estructurales, sedimentarias y tectónicas. En esta clasificación se diferencian 3 unidades morfo estructurales: Altiplano, altiplano-cordillera oriental y cordillera oriental.

2.2.1.1 Unidades morfo estructurales

a) Altiplano

El área de investigación se localiza en esta unidad, caracterizado por presentar colinas, mesetas y lomadas con altitudes que varían entre 3800 y 4010 m.s.n.m. El altiplano presenta afloramientos de rocas mesozoicas, como son las lutitas, areniscas y calizas.

b) Altiplano-Cordillera Oriental

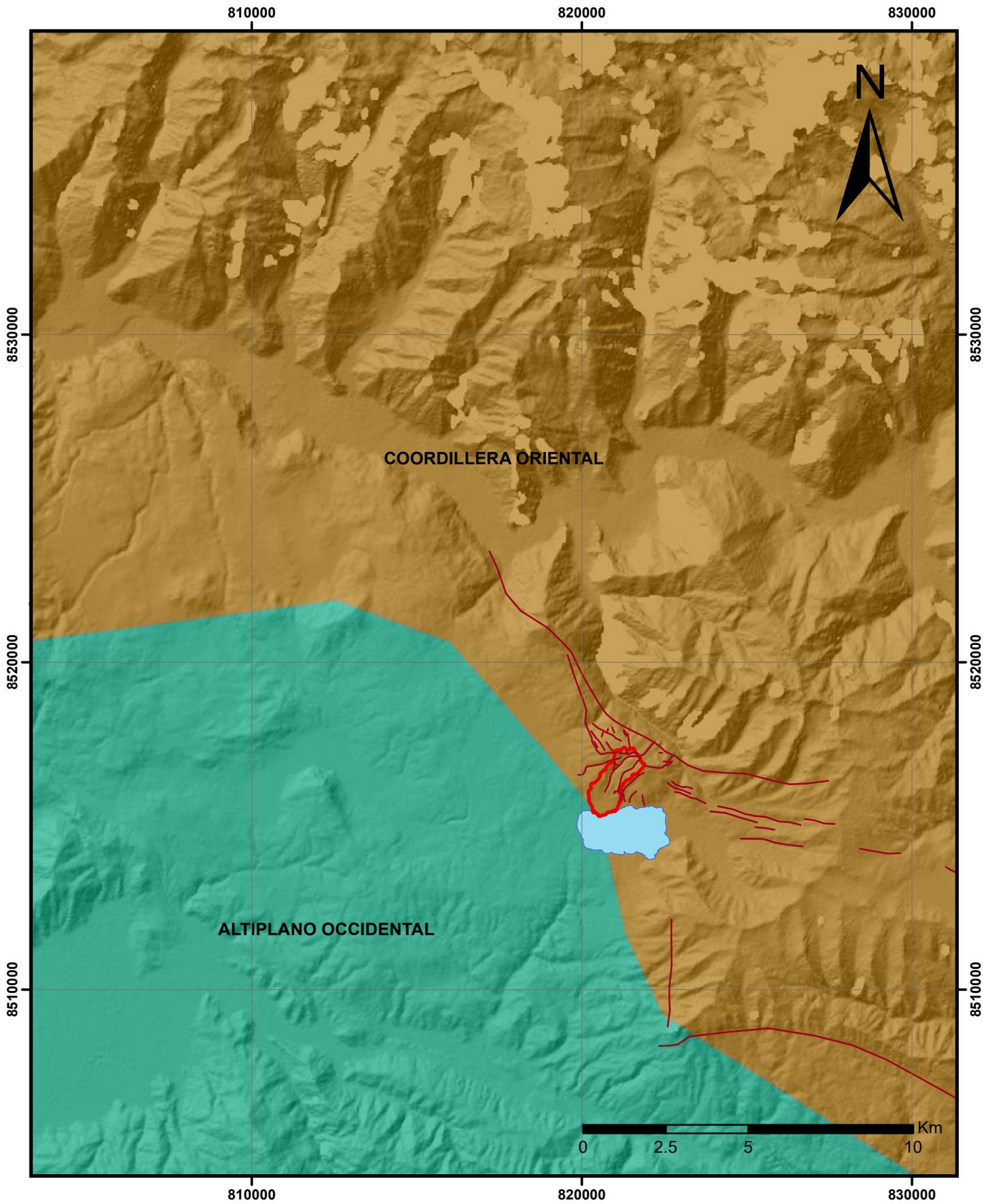
Esta unidad morfo estructural tiene una dirección NO-SE, se caracteriza por presentar el anticlinal de Vilcanota. Se encuentran afloramientos de rocas sedimentarias como son las pizarras, caliza, arenisca, lutitas y racas volcánicas del paleozoico a meso-cenozoico. Pachatusan es la montaña que más destaca alcanzando los 4800 m.s.n.m., con vertientes escarpados, se encuentra también el valle de río Vilcanota que va de SE-NO.

c) Cordillera Oriental

Constituye una subunidad morfo estructural cuya característica principal es su geoforma montañosa discontinua que se distribuye a nivel regional, la cual se muestra en forma abrupta y accidentada. Ha sido configurado por la tectónica Hercínica, pasando por sus fases Eohercínica, Tardihercínica y Nevadiana, las cuales se desarrollaron durante la era Paleozoica.

Su configuración morfológica se inicia durante el levantamiento del bloque andino, que corresponde al Cretáceo inferior y Pleistoceno, con sucesivas transgresiones y regresiones marinas en periodos relativamente cortos. Se distribuye en el sector oriental de la Cordillera de los Andes, se extiende de sur a norte como una franja alargada relativamente, atravesando casi toda el área de estudio. Presenta terrenos cuya litología tuvo origen desde la era Precámbrica hasta fines del Triásico, pero en el sector está representado por secuencias carbonatadas del Grupo Copacabana y rocas metamórficas de esquistos y gneis correspondientes al Complejo Marañón. Constituyen

las elevaciones más importantes del área, con alturas que sobrepasan los 3000 m. sobre la base local.



LEYENDA

GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Unidad Morfoestructural

-  ALTIPLANO OCCIDENTAL
-  COORDILLERA ORIENTAL

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PLANO: GEOMORFOLOGIA LOCAL		
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"		
DEPARTAMENTO: CUSCO	DATUM: 19 S WGS 84	LAMINA:
PROVINCIA: URUBAMBA	ELABORADO: Bch. Carlos William Huaman Susco Bch. Yusef Gavino Valenzuela Valenzuela	P-02
DISTRITO: CHINCHERO	Asesor: Mg. Ronald Luis Lopez Zapana	
COMUNIDAD: CCAMU - PUCAMARCA	FECHA: Enero 2020	ESCALA: 1:150000

2.2.2 GEOLOGIA REGIONAL

En este acápite, se describe brevemente los aspectos relacionados a la geología regional con un enfoque al área de estudio, considerando estudios realizados por el INGEMMET a través de los boletines publicados y otras entidades e investigadores.

El área de estudio comprende estratigráficamente el Grupo Yuncaypata, que este agrupa las formaciones Paucarbamba, Maras, Ayabacas del Albiano Maestrichtiano Cretacico Superior (Carlotto, 1992) y también las formaciones Quilque y Chilca del Paleoceno (Carlotto, 1992) y depósitos cuaternarios.

En la columna estratigráfica regional se tomó como referencia el Cretácico al Eoceno (Carlotto, 1992), donde se resalta al Grupo Yuncaypata y las formaciones Quilque y Chilca como se indica en la Ilustración 2.1 del cual no se considera la Formación Paucarbamba ya que no aflora en la zona de estudio.

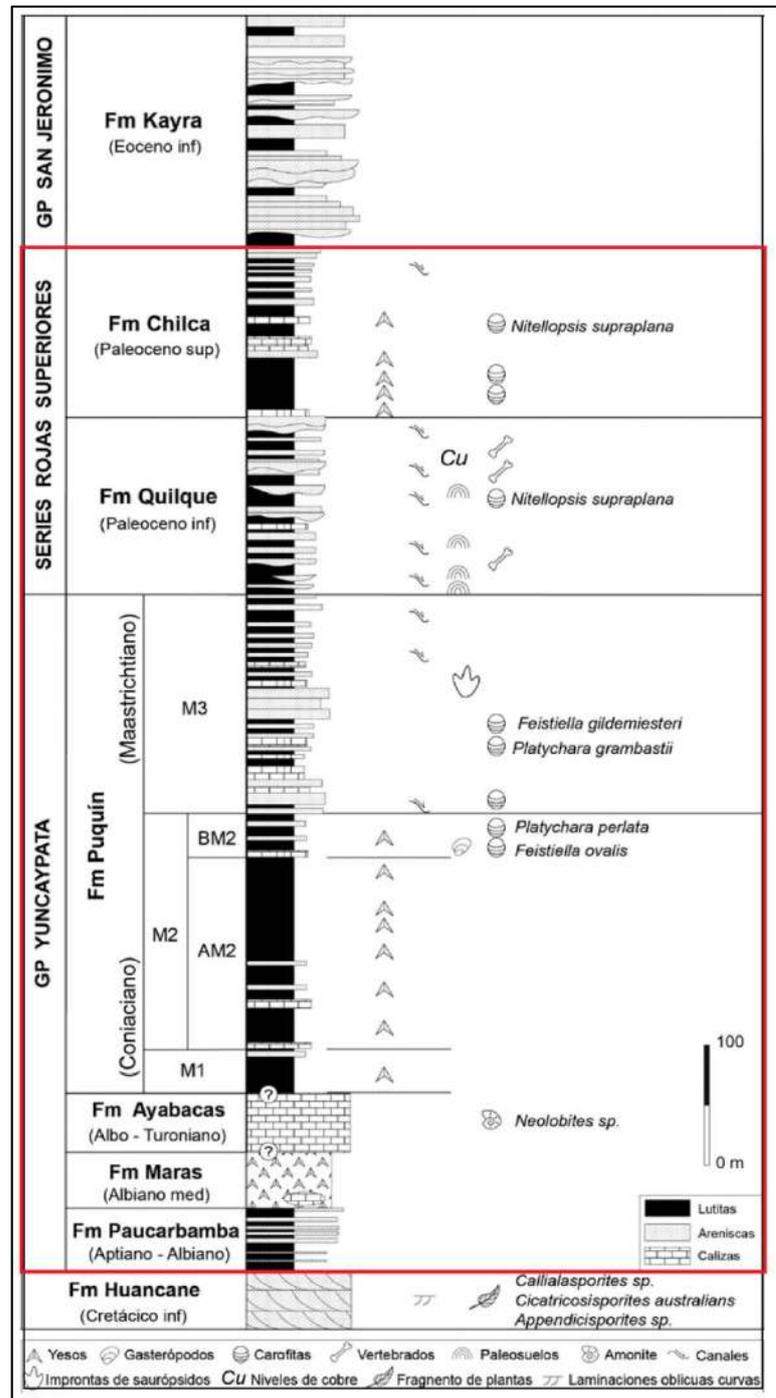


Ilustración 2.1 Columna estratigráfica regional del Cretácico al Eoceno, resaltando el Grupo Yuncaypata y las Formaciones Quilque Chilca. Fuente: (Carlotto, 1992)

Esta formación presenta en gran parte matriz micrítica

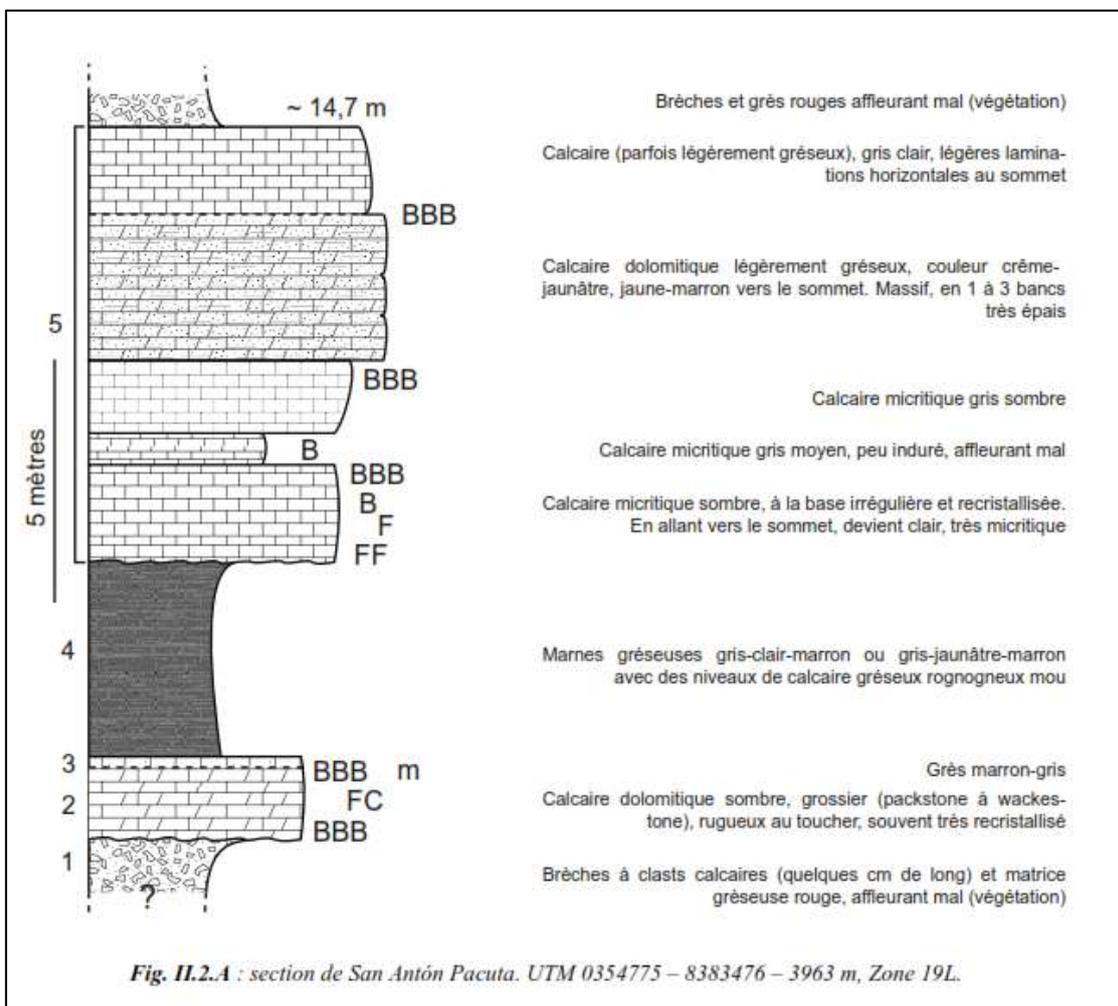


Ilustración 2.2 Columna estratigráfica de Calizas Ayabacas. Fuente: (CALLOT, 2008)

2.2.2.1 Formación Maras (Albiano Medio) (Ki-ma).

Esta unidad sobre yace a la Formación Paucarbamba, pero esta unidad nunca ha sido observada en forma completa, estas secuencias afloran en la pampa de Maras – Piuray de forma caótica, con una mezcla de yesos, lutitas y escasamente calizas producto de deformaciones por el diapirismo, por razones de cartografía se considera como Formación Maras; es por esto que en el mapa geológico del Cuadrángulo de Urubamba esta unidad corta de manera irregular a las formaciones posteriores y a las que afloran en contacto con éstas. (INGEMMET, 1996)

Esta unidad está compuesta básicamente por yesos, lutitas rojas y niveles de calizas con espesores delgados de formados. Las lutitas serían de origen lacustre o marino poco profundo, los

niveles de yesos de un ambiente de sabkha y las calizas indicarían máximos transgresivos (Carlotto, 1992).

La Formación Maras aflora en gran parte de la quebrada de Pucamarca del Cerro Llutupuquio, del cual menciona en el estudio realizado por (GUAMAN POMA DE AYALA, 2013) que se refiere como parte del Diapiro de Maras que abarca la pampa de Chinchero y Piuray.

Fotografía 2.1 Formación Maras en contacto con Calizas Ayabacas



Fuente: Propia

2.2.2.2 Formación Ayabacas (Albiano superior-Turoniano) (Kis-yu)

Esta unidad también aflora de manera caótica sin registros de disposiciones completas dentro de este grupo. En muchas zonas no aparecen dentro del Grupo Yuncaypata tal es el caso de la zona de Occopata al Sur Oeste de la Ciudad del Cusco.

Las calizas se encuentran frecuentemente dolomitizadas, pero se reconocen facies margosas gris oscuras, facies mudstones bioturbadas, facies wakestone – packstone mas o menos bioclásticas

y menos frecuentes facies grainstone con oolitos de bioclastos. Algunas facies aparecen con figuras de emersión y aspectos de brechas con figuras de tipo slump (INGEMMET, 1996).

La presencia de espesores diferentes, presencia de fallas normales sinsedimentarias, slumps y los niveles de brecha sugieren que el relieve era ligeramente accidentado y que durante su sedimentación ocurrían deslizamientos importantes y por esto sería que las calizas solo se encuentran en ciertos lugares (Carlotto, 1992).

La formación tiene afloramientos a lo largo de la dirección Sur este a Nor Oeste desde Sacsayhuaman hasta Maras conjuntamente con unidades del Grupo Yuncaypata; en este caso en el cerro Llutopuquio de la quebrada Pucamarca está en contacto con formaciones Maras, Quilque Chilca con una parte de Puquín.

Estas rocas son utilizadas como material de construcción y se pueden observar una Cantera en el poblado de Pucamarca y otra hacia el lado del sector de Ccamu.

Fotografía 2.2 Cantera de Pucamarca, calizas fracturadas con niveles de margas por el contacto con el agua.



Fuente: Propia

Por otro lado, las calizas pueden constituir acuíferos kársticos, pero su extensión es reducida y su producción estacional, especialmente tras la época de lluvias (GUAMAN POMA DE AYALA, 2013).

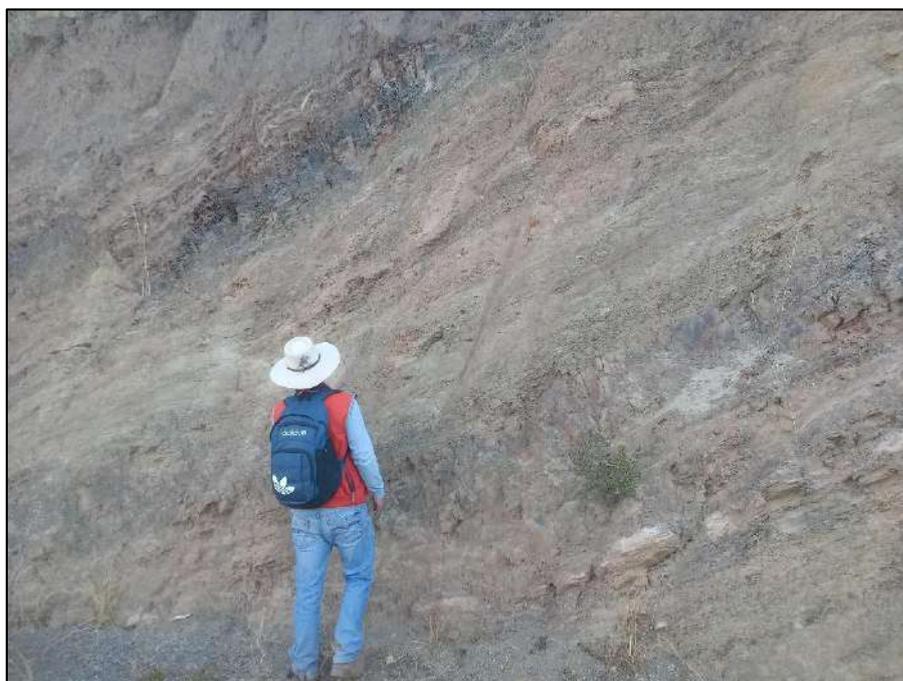
2.2.2.3 Formación Puquín (Coniaciano-Maestrichtiano) (Ks-pu)

La formación Puquín en la microcuenca de Piuray aflora al Noreste de la laguna de Piuray abarcando gran parte del cerro de Llutopuquio en contacto con las formaciones Quilque Chilca y las formaciones Maras y Ayabacas en ciertas partes.

La formación Puquín se subdivide en 3 mega secuencias o miembros llamados M1, M2 y M3 que sobre yacen a la Formación Ayabacas, pero en general, el contacto corresponde a un nivel de despegue (INGEMMET, 1996).

El miembro M1 está compuesta por lutitas rojas, y brechas con elementos pelíticos que se encuentran hacia la parte posterior y Norte del cerro Llutopuquio; el miembro M2 está compuesto por lutitas negras oscuras y en la parte superior de lutitas verdes y rojas altamente fracturadas con intercalaciones de areniscas de grano fino formando anticlinales y sinclinales al Este del acuífero kárstico; el miembro M3 está compuesto por lutitas rojas y areniscas feldespáticas de grano medio a grueso granocrecientes y estratocrecientes en contacto concordante de areniscas y microconglomerados de la formación Quilque con buzamiento predominante en dirección Sur Oeste.

Fotografía 2.3 Nivel M2 de la Formación Puquín con intercalaciones de lutitas oscuras



Fuente: Propia

Las rocas de esta formación por su grado de fracturamiento e intemperización seguida de composición letífica no son recomendables como recursos geológicos a excepción de las areniscas que representan menor cantidad, ya que sobre estos materiales se viene formando erosión en forma de cárcavas profundas en especial la parte Este del cerro Llutopuquio , hidrogeológicamente estas

unidades constituyen acuitardos, también actuando de manera de sello por su disposición infrayacente a las formaciones que constituyen el acuífero kárstico.

2.2.2.4 Formación Quilque Chilca (Paleoceno inferior al eoceno basal ?) (Pp-qc)

Las formaciones Quilque y Chilca afloran en dirección Norte a Nor Oeste de la laguna de Piuray con espesores pequeños en los flancos del contacto con Maras y Ayabacas con buzamientos en dirección Sur Oeste.

Estas capas rojas reposan en discordancia erosional sobre la Formación Puquín y en contacto de falla inversa con las formaciones Maras y Ayabacas.

Fotografía 2.4 Contacto con lutitas Chilca y depósitos de la Formación Maras en el cerro

Llutopuquio, parte este de la quebrada de Pucamarca.



Fuente: Propia

Están constituida por lutitas, areniscas y micro conglomerados de color rojo (Carlotto, 1992) y clastos subredondeados de areniscas lutitas y calizas, con un espesor variable entre 100 metros aproximadamente que corresponden a depósitos fluviales.

Fotografía 2.5 Microconglomerados subredondeados de la Formación Quilque en contacto con el techo de la Formación Puquín



Fuente: Propia

Fotografía 2.6 Lutitas rojas de las Formaciones Quilque y Chilca al norte de la Laguna de Piuray en el cerro Llutupuquio



Fuente: Propia

Fotografía 2.7 Formación Quilque y Chilca al NW de la Laguna de Piuray



Fuente: Propia

Hacia el Noroeste en contacto con las formaciones Maras y Ayabacas presentan mineralizaciones de Cobre con minerales de Malaquita en mayor cantidad seguidamente de Azurita y crisocola en forma de patinas.

Fotografía 2.8 minerales de Malaquita, Azurita y crisocola encontrados en las formaciones Quilque y Chilca



Fuente: Propia

2.2.2.5 Depósitos cuaternarios

Depósitos recientes superficiales que cubren los afloramientos rocosos mencionados o por el producto del intemperismo van formando nuevos suelos. En la zona de estudio se han reconocido depósitos de tipo Aluviales, Coluviales, eluviales, lacustres; los depósitos coluviales y eluviales son de muy poca representatividad superficial pero será necesario mencionarlas en este acápite.

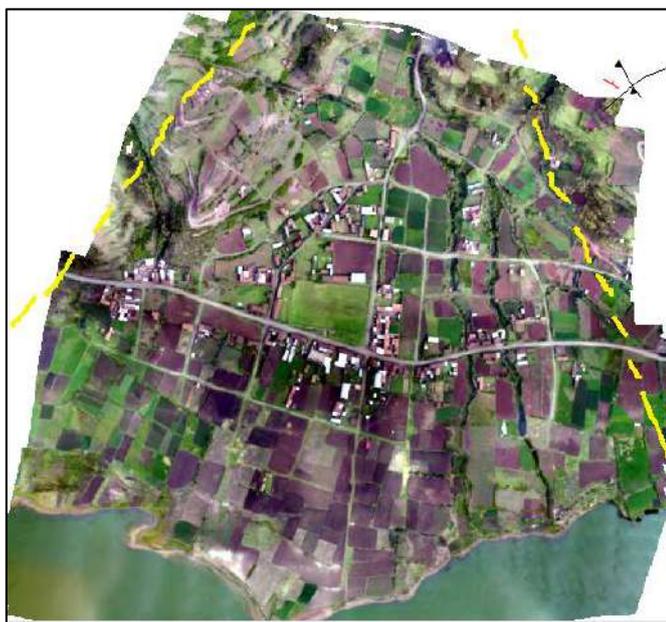
a) Depósitos aluviales (Q-al)

Estos depósitos representan una gran extensión en el poblado de Pucamarca formando un abanico aluvial y también en el eje de la quebrada de Pucamarca de extensiones pequeñas, esta unidad desemboca en la laguna de Piuray.

Están constituidos por bloques y gravas subangulosos a subredondeados en partes distales a angulosos en partes proximales con una matriz fina limos arcillosa con predominancia de finos hacia la parte de desembocadura de la laguna.

Este tipo de depósitos presentan baja compacidad por lo que son vulnerables al contacto con el agua formando erosión por cárcavas. Están clasificados como acuitardos poco permeables con una permeabilidad de 1.93×10^{-2} .

Fotografía 2.9 Vista del cono aluvial del poblado de Pucamarca



Fuente: Elaboración propia (levantamiento fotogramétrico con drone)

b) Depósitos coluviales (Q-co)

Este tipo de depósitos se forman por factores de gravedad, viento y pendientes depositándose en lugares estables incluyéndose los deslizamientos.

Presentan composición de gravas, limos, arenas y bloques de formas angulosas y subangulosas con espesores desde centimétricos a varios metros. Estos depósitos presentan poca compacidad con características malas para fundación de obras civiles, en la zona de estudio se encuentran en dimensiones muy pequeñas no representativas para la escala y poder ser bocetadas en el mapa geológico litológico.

c) Depósitos eluviales (Q-el)

Los depósitos eluviales mayormente se encuentran por la acción del intemperismo de las lutitas de las formaciones Puquín, Quilque y Chilca; estos depósitos de suelos residuales se encuentran con pocos espesores de centimétricos hasta unos 5 metros los cuales vienen siendo aprovechados por la agricultura.

d) Depósitos lacustres (Q-la)

Estos depósitos están compuestos por materiales de arrastre de la laguna que fue dejando a través de su retroceso que se encuentran en forma circundante a la Laguna de Piuray en contacto con depósitos aluviales.

Presentan composición de arcillas rojas, grises intercaladas con niveles de arcillas de color blanquecino de aproximadamente 3 metros y capas de material oscuro de turbas en disposiciones horizontales.

Hidrogeológicamente está caracterizado como acuitardos (GUAMAN POMA DE AYALA, 2013).

2.2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En la zona de estudio regionalmente comprende el dominio SO Altiplánico de los cuadrángulos Calca y Urubamba (INGEMMET, 1996) y está comprendido dentro de estructuras como sistema de fallas, fracturas, pliegues y la estructura del diapiro de Maras.

2.2.3.1 FALLAS NORMALES

a) SISTEMA DE FALLAS CORICOCHA – CHINCHERO – PIURAY

Estos sistemas de fallas están orientados en una dirección Este a Oeste, empezando con el sistema de fallas Qoricocha con una dirección SEE a NWW enlazándose con el sistema de fallas chinchero Este a Oeste, continuando y afectando a depósitos aluviales y coluviales el sistema de fallas Piuray entre Huitapuquio y Cuper bajo.

Este sistema de fallas pertenecen a un sistema activo teniendo reactivaciones en los últimos tiempos desde el holoceno generando deslizamientos (INGEMMET, 2013).

b) SISTEMA DE FALLAS TAMBORAY

Estas fallas presentan una dirección Norte Sur ubicadas en las laderas de montañas con una extensión aproximada de 4 kilómetros a altitudes promedio de 4000 m.s.n.m. al este de Qoricancha, presentan un comportamiento normal sinistral según las imágenes satelitales también descritas en el boletín de Neo tectónica y peligro sísmico en la región Cusco (INGEMMET, 2013).

c) SISTEMA DE FALLAS TAMBOMACHAY

Esta falla se encuentra en el lado norte de la ciudad de la ciudad del Cusco extendiéndose hasta la región sur de la zona de estudio.

Se extiende en dirección NO a SE, presenta un comportamiento normal y activo desde el ultimo millón de años (INGEMMET, 2013), observándose la parte Noroeste de la falla al sur del poblado de Qoricancha a una altitud de 3900 m.s.n.m. con presencia de escarpas de deslizamientos antiguos.

2.2.3.2 FALLAS INVERSAS

a) FALLA URQUILLOS

La falla tienen una orientación Sureste a Noroeste con un comportamiento inverso como eje de un sistema de anticlinales y sinclinales teniendo como núcleo a la Formación Puquín, en los flancos Quilque Chilca y una continuidad de la Formación Soncco hacia el Norte a las montañas de Hatumluicho.

b) FALLA PUCAMARCA

Esta estructura se encuentra en la zona de estudio con una dirección SE a NW partiendo de la laguna de Piuray, es un contacto litológico entre rocas cretácicas (Maras y Ayabacas) con areniscas y lutitas de Puquín, Quilque y Chilca de carácter inverso ya que las formaciones más antiguas están por encima de las areniscas y lutitas mencionadas. De esta manera esta estructura limita todo lo que comprende el acuífero kárstico de Pucamarca extendiéndose esta estructura a través del centro arqueológico de Chinchero en dirección NW.

Estos contactos parecen estar asociados a diapiros evaporíticos por su geometría irregular (INGEMMET, 1996).

2.2.3.3 DIAPIRO DE MARAS

El diapiro de Maras es una estructura de domo que ha intruido o cortado las rocas sedimentarias de las formaciones Puquín, Quilque y Kayra. (Marocco, 1978) (GUAMAN POMA DE AYALA, 2013) (INGEMMET, 1996) .

La zona de estudio comprende el flanco norte de esta estructura en contacto de forma irregular con la Formación Puquín, Quilque y Chilca y la laguna de Piuray, esta unidad está compuesto específicamente por materiales de la Formación Maras y la formación Ayabacas.

Los depósitos evaporíticos de la Formación Maras van formando dolinas y karstificaciones, producto de esto se encuentran algunas lagunetas hacia el Suroeste de la zona de estudio.

2.2.3.4 PLIEGUES

La zona de estudio comprende 2 anticlinales A y B y 2 Sinclinales A y B que presentan como eje en las areniscas y lutitas de la Formación Puquín, que conforman el anticlinorio de la formación Puquín con flancos de la Formación Quilque y Chilca.

El anticlinal A y el sinclinal B son ligeramente simétricos, mientras que el anticlinal C es volcado y a su vez afectado por las fallas inversas A. Los pliegues tienen una dirección E-O a NO-SE hasta truncarse en el diapiro de Maras. La falla inversa A hace repetir a la formación Puquín, cortando el sinclinal B, donde el flanco norte está invertido. (GUAMAN POMA DE AYALA, 2013)

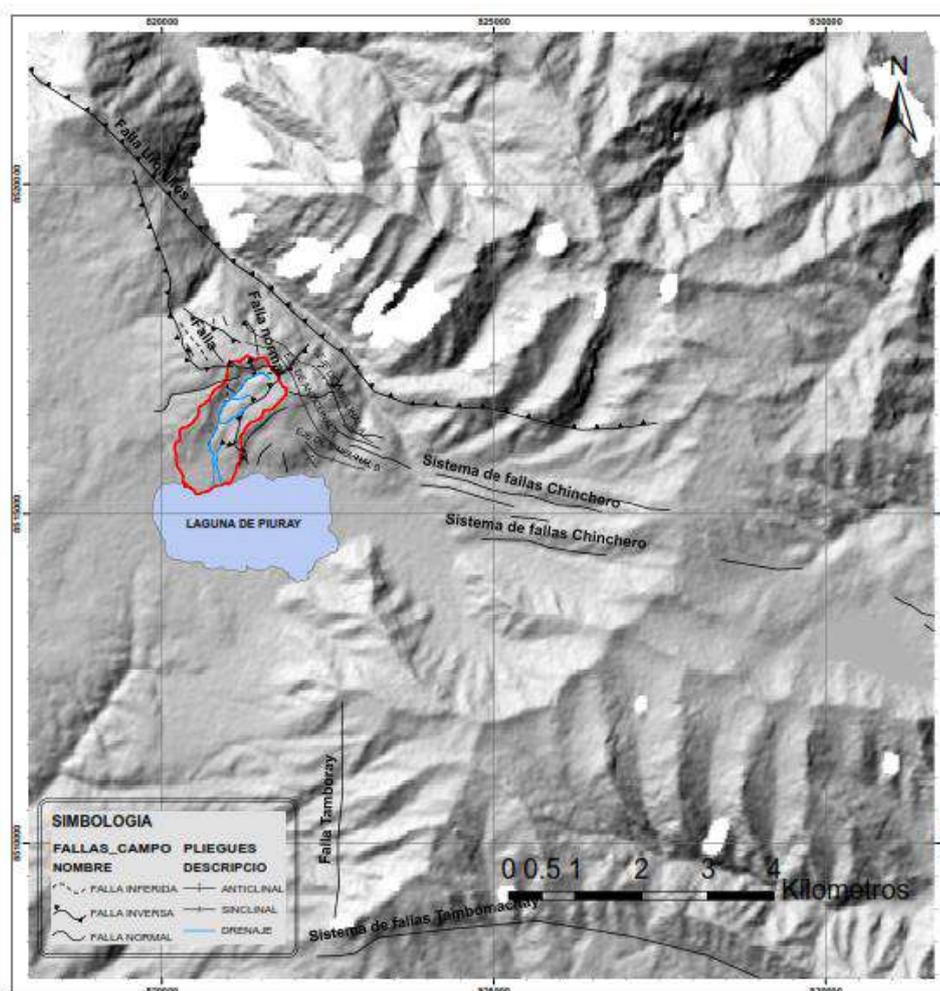


Ilustración 2.3 Mapa estructural regional de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

2.2.4 GEOFÍSICA

2.2.4.1 ASPECTOS DE LA GEOFISICA

Los métodos indirectos de prospección geofísica son fundamentales en la exploración de aguas subterráneas ya que permite obtener de manera indirecta las propiedades físicas de los materiales.

Los métodos geofísicos aplicados en esta investigación proveen información del comportamiento geométrico a profundidad, niveles freáticos, grado de fracturamiento de la estructura del acuífero kárstico.

La presencia de circulación de aguas a través de las fracturas de las rocas puede ser determinado mediante estudios de resistividad eléctrica, ya que estos métodos son sensibles en variación con factores como la porosidad, la permeabilidad, temperatura, saturación de fluidos, la química de los fluidos, además del grado de fracturamiento y los minerales que componen estas rocas. (Zuñiga Lara, 2012)

2.2.4.2 PROSPECCIÓN GEOFISICA

La prospección geofísica es, a primera vista, un conjunto de técnicas físicas y matemáticas, aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles (petróleo, aguas subterráneas, minerales, carbón, etc.), por medio de observaciones efectuadas en la superficie de la tierra. (Orellana Silva, 1982).

En resumen se podría decir que, “la Geofísica es una ciencia natural que utiliza los postulados fundamentales de la Física para investigar el comportamiento de algunos componentes de nuestro planeta como el campo magnético, la densidad de las rocas, su capacidad para conducir la corriente eléctrica y las ondas sísmicas, el movimiento de los continentes y los fondos marinos, etc.” (Auge, 2008)

2.2.4.3 MÉTODOS GEO ELÉCTRICOS DE PROSPECCIÓN

Para las condiciones del estudio es necesario tener en cuenta algunos aspectos referidos a la hidrogeología, por tanto, se debe considerar este aspecto en el diagnóstico de las condiciones del subsuelo. Bajo estos condicionantes se deberá precisar los tipos de prospección existentes.



Ilustración 2.4 Métodos geoelectricos de prospección hidrogeológica. Fuente: (Auge, 2008)

2.2.4.4 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

Es la rama de la Geofísica que trata sobre el comportamiento de rocas y sedimentos en relación a la corriente eléctrica.

Los métodos usados en hidrogeología se basan en la inducción de corriente eléctrica por métodos como sondeo eléctrico vertical (SEV) y calicatas eléctricas (CE) en base al principio de SEV, con menor utilidad la polarización inducida (IP), y potencial espontaneo (SP). Últimamente son más útiles y prácticos métodos de tomografía eléctrica o imágenes interpoladas en base a una secuencia de sondeos eléctricos verticales.

2.2.4.5 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUBSUELO

La resistividad eléctrica R de un material se define como la dificultad que encuentra la corriente a su paso a través de él.

El paso de la corriente eléctrica a través de las rocas y sedimentos, puede explicarse con la Ley de Ohm que define que la caída de potencial V entre 2 puntos por los que circula una corriente eléctrica de intensidad I , es proporcional a ésta y a la resistencia R que ofrece el medio al pasaje de la corriente. (Gasulla Forner, 1999)

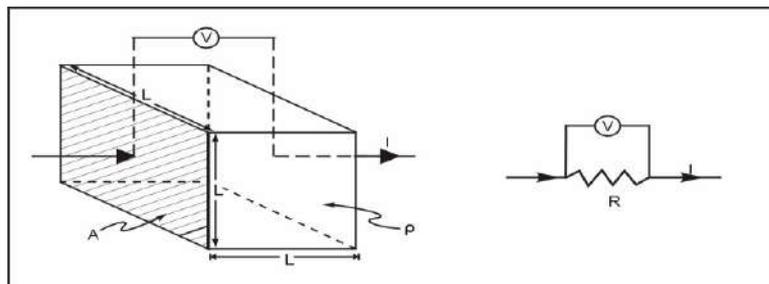


Ilustración 2.5 Esquema del principio de resistividad.

Ley de ohm:

$$\Delta V = I \cdot R$$

La conductividad se define como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica atravesando un determinado material. La resistencia que tiene un material homogéneo es definida como la resistividad el tipo de material que lo constituye y su forma de tal que para un conductor rectilíneo y uniforme de área s y longitud l , su resistencia eléctrica será:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

Despejando la resistividad:

$$\rho = \frac{R \cdot s}{l}$$

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

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

Como menciona (Gasulla Forner, 1999), la resistividad es una de las magnitudes físicas con mayor amplitud de variación para diversos materiales. Además, su valor depende de diversos factores como la temperatura, humedad o presión. Estrictamente hablando todos los cuerpos son eléctricamente conductores dado que permiten, en mayor o menor medida, el paso de portadores de cargas eléctricas. Estos portadores pueden ser electrones o iones, hecho que permite distinguir entre dos tipos de conductividad: electrónica e iónica. Los cuerpos con conductividad electrónica se clasifican en metales y semiconductores. Los cuerpos con conductividad iónica se conocen como electrolitos si no presentan forma gaseosa. El mecanismo de la conductividad de los metales puede imaginarse como debido a que los electrones de valencia de sus átomos pueden moverse libremente entre la red cristalina que éstos forman, sin vinculación a ninguno determinado. La facilidad de movimiento de los electrones y su gran número redundan en una conductividad muy elevada. Su resistencia aumenta con la temperatura y con el contenido de impurezas. (págs. 2-3)

Si la resistividad de las rocas dependiese únicamente de los minerales constituyentes, habrían de considerarse como aislantes en la inmensa mayoría de los casos, puesto que el cuarzo, los silicatos, la calcita, las sales, etc., lo son prácticamente. Sólo en el caso de que la roca contuviese minerales semiconductores en cantidad apreciable, podría considerarse como conductora, es decir, sólo lo serían las menas metálicas. Afortunadamente, todas las rocas tienen poros en proporción mayor o menor, los cuales suelen estar ocupados total o parcialmente por electrolitos, de lo que resulta que, en conjunto, las rocas se comportan como conductores iónicos, de resistividad muy variable según los casos. La resistividad de las rocas puede variar en margen amplísimo en función del contenido en agua, de la salinidad de ésta y del modo de distribución de los poros. La Figura 2.1 presenta un gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales.

La fisuración, impregnación en agua salada, etc., pueden extender estos límites. (Gasulla Forner, 1999).

En las ilustraciones se indican los rangos de resistividades característicos para rocas, minerales y sedimentos; en los sedimentos existe una diferencia entre los de grano fino (arcilla, limos) y los de grano grueso (arenas y gravas).

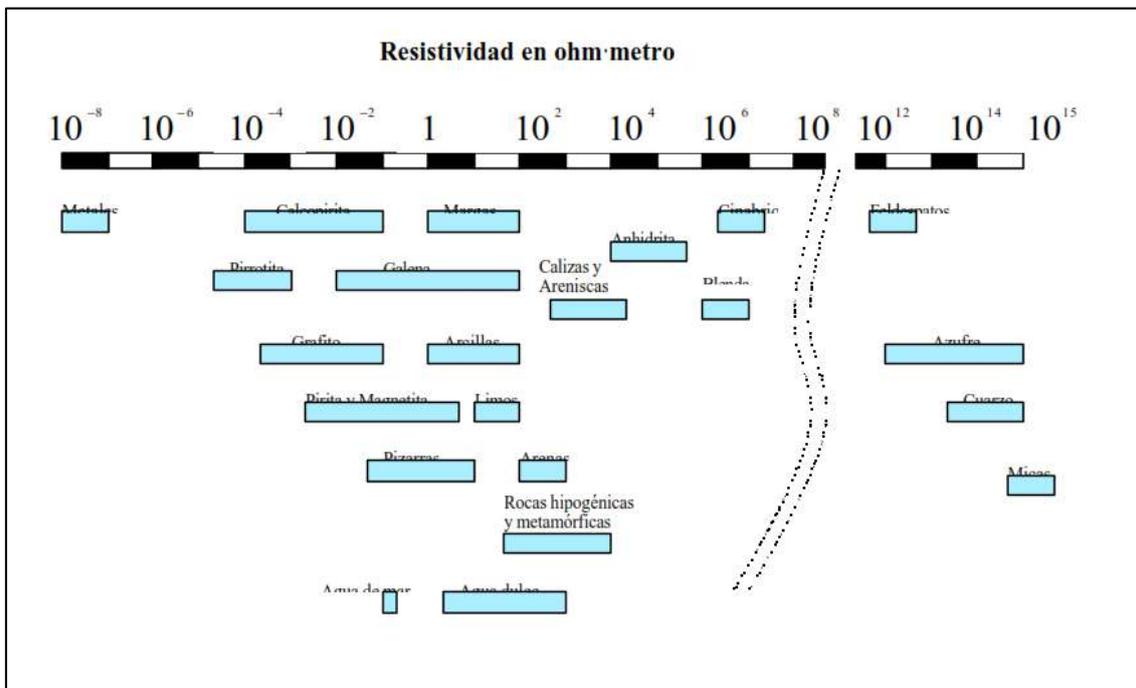


Ilustración 2.6 Valores de resistividades de diferentes rocas y minerales. Fuente: (Orellana Silva, 1982)

Material	Resistividad ($\Omega.m$)	
	Mínimo	Máximo
Grava	50 (agua saturada)	$> 10^4$ (en seco)
Arena	50 (agua saturada)	$> 10^4$ (en seco)
Limo	20	50
Marga	30	100
Arcilla (húmeda)	5	30
Arcilla (seca)		>1000
Lodos	15	25
Arenisca	<50 (húmedo)	$> 10^5$ (en compacto)
Caliza	100 (húmedo)	$> 10^5$ (en compacto)
Esquistos	50 (húmedo)	$> 10^5$ (en compacto)
Toba	2×10^3 (húmedo)	10^5 (mojada)
Rocas ígneas y metamórficas	<100 (degradado, húmedo)	$> 10^6$ (en compacto)
Roca de sal	30 (húmedo)	$> 10^6$ (en compacto)
Residuos domésticos e industriales	< 1	>1000 (de plástico)
Agua natural	10	300
Agua de mar (35 ‰ NaCl)	0.25	
Agua salada	(salmuera) < 0.15	3×10^3
Agua superficial (rocas ígneas)	0.1	100
Agua superficial (sedimentos)	10	10^6

Ilustración 2.7 Resistividades de materiales geológicos y residuos. Modificada de Gasulla (1999). Fuente: (Zuñiga Lara, 2012)

2.2.4.6 MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD ELECTRICA

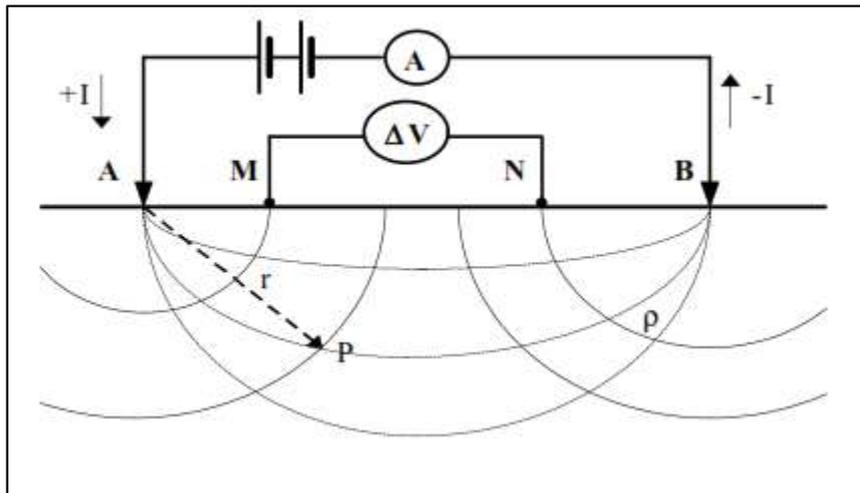


Ilustración 2.8 Dispositivo tetraelectrodico para la medida de la resistividad del suelo.

La Ilustración 2.9, muestra el principio fundamental de la medida de resistividad del suelo. Este consiste en inyectar una corriente continua entre el par de electrodos AB midiéndose la tensión entre el par de electrodos MN. Para un medio homogéneo de resistividad (Orellana Silva, 1982), la diferencia de potencial es:

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

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

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad \text{Unidades de } \Omega.m$$

Donde

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

K: Es un factor geométrico que depende únicamente del arreglo de los electrodos.

2.2.4.7 DISPOSITIVOS ELECTRÓDICOS LINEALES

En principio los cuatro electrodos pueden adoptar cualquier disposición geométrica sobre el plano que representa la superficie del terreno (Orellana Silva, 1982).

De los numerosos arreglos para la presente investigación se optó por los métodos Wenner y Wenner-Schlumberger, con espaciamientos electródicos descritos en el capítulo de resultados, los cuales inciden en la profundidad de investigación y la resolución de la imagen; a mayor espaciamiento de electrodos se tiene una mayor profundidad, pero una menor resolución y viceversa.

a) Wenner

Este arreglo consiste en que los electrodos AMNB son equidistantes con una separación a , el sondeo consiste en un aumento progresivo de a manteniendo el punto central P para la adquisición de datos a más profundidad. Los datos obtenidos en términos geométricos será la resistividad aparente ρ ($\Omega.m$) en las ordenadas y en las abscisas el valor de a en metros.

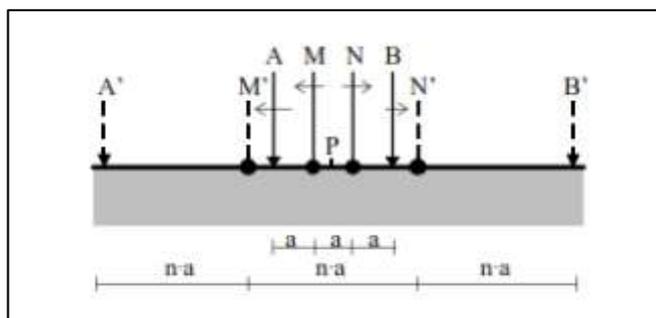


Ilustración 2.9 Arreglo Wenner. Con variación equidistante de AMNB. Fuente: (Gasulla Forner, 1999)

b) Schlumberger

El arreglo consiste en que los electrodos A y B se van separando progresivamente y MN quedan estáticos, $AB \gg MN$, en el cual en valores de profundidad se tiene la resistividad aparente ($\Omega.m$) y en las abscisas la distancia $AB/2$ (m)

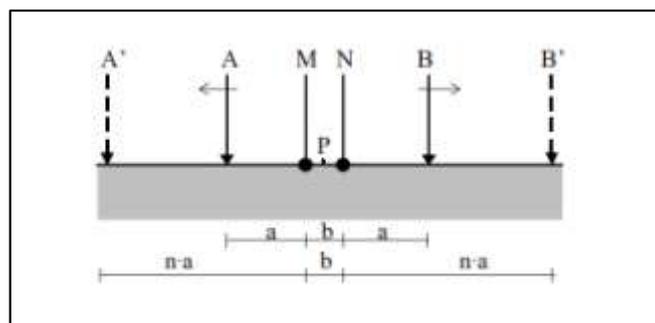


Ilustración 2.10 Arreglo Schlumberger. Los electrodos A, B se abren y M y N quedan fijos respecto a P. Fuente: (Gasulla Forner, 1999)

2.2.4.8 TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.

La tomografía eléctrica, es una imagen que puede ser en dos o en tres dimensiones de la distribución real de resistividad eléctrica del subsuelo. Esta se obtiene a partir de modelos matemáticos, los cuales se denominan *problema inverso*. El problema inverso es simplemente el conjunto de métodos matemáticos usados para extraer información útil de nuestro entorno a partir de medidas físicas o *datos*. La teoría del problema inverso en su sentido más amplio ha sido desarrollada por los investigadores que trabajan con métodos geofísicos. La razón es que dichos investigadores tratan de estudiar el interior de la Tierra sólo a partir de datos obtenidos desde la superficie. Sin embargo, el problema inverso aparece en muchas otras ramas de las ciencias físicas e ingeniería, como pueden ser la tomografía médica, el procesamiento de imágenes o el ajuste de curvas (Orellana Silva, 1982); (Loke, 1997); (Gasulla Forner, 1999)

Esta técnica se estudia a lo largo de líneas, en el cual se inyecta una corriente eléctrica a través de 4 electrodos en distintas combinaciones y diferentes distancias que se dispone, estas combinaciones lo realiza un convertidor multicanal, para este caso de 60 electrodos del cual recibe la unidad central de procesos en forma de resistividad aparente.

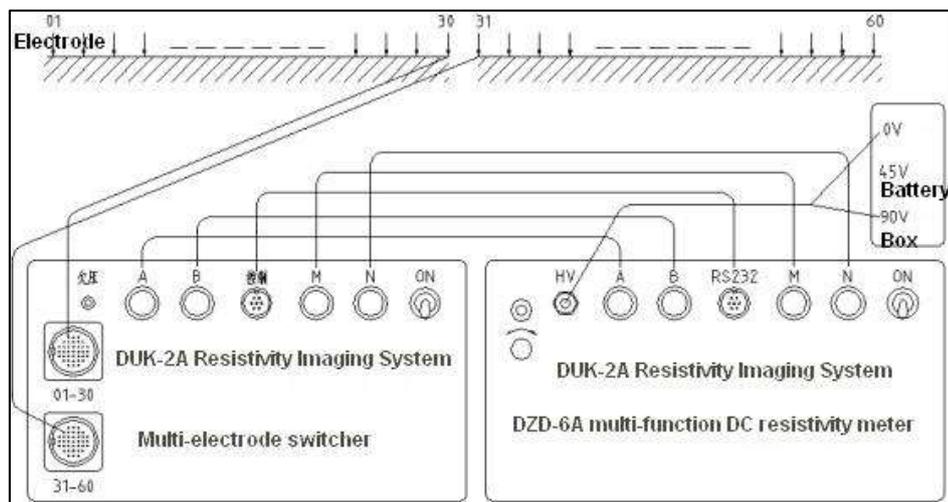


Ilustración 2.11 Esquema de conexión y funcionamiento de los equipos de tomografía eléctrica.
Fuente: Manual del equipo.

2.2.4.9 MÉTODOS DE PROSPECCIÓN GEOLÉCTRICA DE TOMOGRAFIA

ELECTRICA

En la investigación se realizó mediante 2 métodos Wenner y Wenner Schlumberger para tener una comparación de datos entre estos dos arreglos.

a) Método Wenner

A través de los 60 electrodos la corriente circula en arreglos tetraelectrodicos A, M, N, B, con separaciones variables y equidistantes entre sí para cada nivel n de profundidad; en este caso con un factor mínimo de $n = 1$ y un máximo de $n=16$, para una distancia electródica máxima de 5 metros.

b) Método Wenner – Schlumberger

La medición usa el mismo método Wenner, agregando a esto datos con el arreglo Schlumberger el cual consiste en la variación de electrodos A, B pero la distancia M, N se fija al moverlos, variando y combinando a través de los 60 electrodos y los niveles de profundidad n, con una resultado mayor de puntos de resistividad, adquiriendo una imagen trapezoidal con base menor de mayor longitud que el método Wenner.

2.2.4.10 PSEUDO SECCIÓN DE RESISTIVIDAD APARENTE

Cuando se desea registrar la resistividad aparente del subsuelo, a partir de datos procedentes de un dispositivo geoelectrico, de manera que queden registradas las variaciones laterales y verticales de dicho parámetro (modelo 2-D), se suele construir gráficamente lo que se denomina una “pseudo-sección” con resistividades aparentes.

Tradicionalmente, las pseudo-secciones se construyen tal como se ilustran en el gráfico que se muestra en el siguiente esquema.

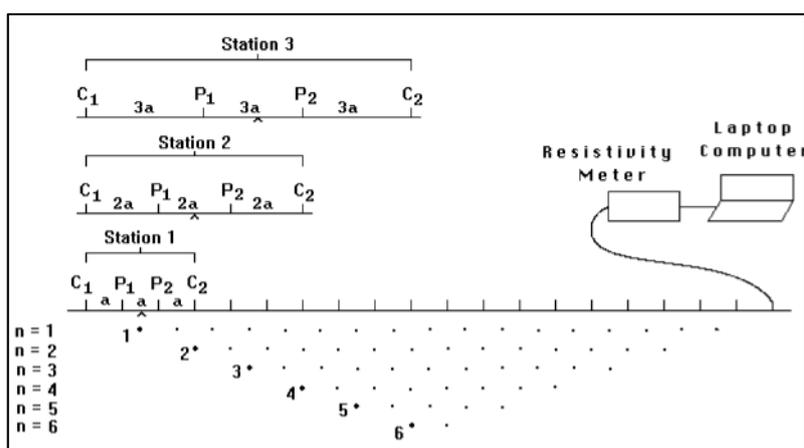


Ilustración 2.12 Esquema de adquisición de una ERT usando un arreglo Wenner

2.2.4.11 INVERSION DE DATOS DE RESISTIVIDAD APARENTE

Para la obtención de resistividades reales se debe de realizar la corrección de datos anómalos y por procesos iterativos, estos procesos facilita los software automatizados desde la corrección de topografía, si es que existe una variación de topografía en la superficie para finalmente ajustar a un modelo real mediante una serie de iteraciones con porcentajes de error admisibles.

2.2.4.12 EQUIPO UTILIZADO EN LOS ENSAYOS DE TOMOGRAFIA

a) RESISTIVIMETRO DUK-2A Y CONVERTIDOR MULTICANAL

Los modelos utilizados son el equipo DUK-2^a como unidad central de procesos y un convertidor multicanal para realizar las combinaciones y poder realizar la Tomografía Eléctrica.



Ilustración 2.13 equipo DUK-2A y convertidor multicanal MIS-60. Fuente: Manual del equipo.

b) ELECTRODOS

Consta de 60 unidades de electrodos, con aleación de hierro y cobre, la finalidad de los electrodos es de transmitir un voltaje hacia el subsuelo.

Fotografía 2.10 electrodos



Fuente: Propia

c) BATERIA

La batería presenta una variedad de salida de voltaje de 24, 48, 90 voltios.

Fotografía 2.11 Conexión de la batería a resistivímetro.



Fuente: Propia

d) CABLES DE CONEXIONES

Cables de cobre con conexiones para cada electrodo para extender hasta los 300 metros de distancia.

e) ADITIVOS PARA EL CORRECTO USO DEL EQUIPO

Agua con sal para la mayor conductividad en los electrodos, recomendados en terrenos áridos y secos para que pueda ayudar a la conductividad en el contacto electrodo – suelo.

f) OTROS INSTRUMENTOS ADICIONALES

Comba, alicates, voltímetros, guantes para seguridad, casco y lentes

2.2.5 ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS

La caracterización hidrogeológica depende del carácter de los factores como la hidrología, litología, estructuras y composición química de las rocas, estos nos permitirán establecer los parámetros de evaluación con la finalidad de conocer el comportamiento físico químico de las aguas subterráneas, asociado a las estructuras geológicas y litológicas que tienen influencia directa en el comportamiento hidráulico para conocer el comportamiento de los flujos subterráneos y la geometría del acuífero. Por tanto, este capítulo nos permitirá establecer las características hidrogeológicas.

Las calizas se consideran de un interés hidrogeológico siempre y cuando estén fracturadas y karstificadas, en cambio los yesos de la formación Maras no suelen considerarse de interés hidrogeológico por diversos motivos, siendo el principal la baja permeabilidad y capacidad de infiltración que existe, y también por el contenido de sales dando lugar a concentraciones anómalas que podrían ser no aptas para el consumo.

Los acuíferos en calizas dependen mucho del grado de karstificación, las discontinuidades con interés hidrogeológico son las fracturas, fisuras y planos de estratificación de esta manera condicionan la infiltración, el tránsito, el almacenamiento junto con la porosidad de la roca y la circulación de en zonas saturadas.

Fotografía 2.12 Proceso de karstificación por la disolución de los carbonatos en calizas Ayabacas de la zona de estudio



Fuente: Propia

Si existe un grado de fracturamiento es de aceptación que por estos medios existe circulación y saturación de agua en un medio kárstico. De esta manera el sistema funcional parte por la precipitación, recargas directas, artificiales o de otros medios subterráneos infiltrando o atravesando los espacios de fácil paso (sumideros, lapiaces, fracturas abiertas, etc.)

En estos medios presenta un recorrido esencialmente vertical a lo largo de la zona no saturada, hasta llegar a la zona saturada. En la zona saturada el movimiento del agua está regido por el

potencial del agua en cada punto, y se efectúa desde las zonas de mayor a las de menor potencial, de las zonas de recarga a las de descarga, con una componente del movimiento predominante horizontal, por su parte, considera cuatro zonas, de aireación, donde se pueden encontrar aguas kársticas colgadas; de fluctuación estacional; de saturación completa; y de circulación profunda, de características poco conocidas; correspondería a la circulación regional, dentro del esquema hidrodinámico de Toth. La Ilustración 2.14 muestra la concepción más extendida de variación de k con la profundidad en gran medida soportada por los resultados de pruebas en los entornos de obras civiles. (PULIDO BOSH, 2014)

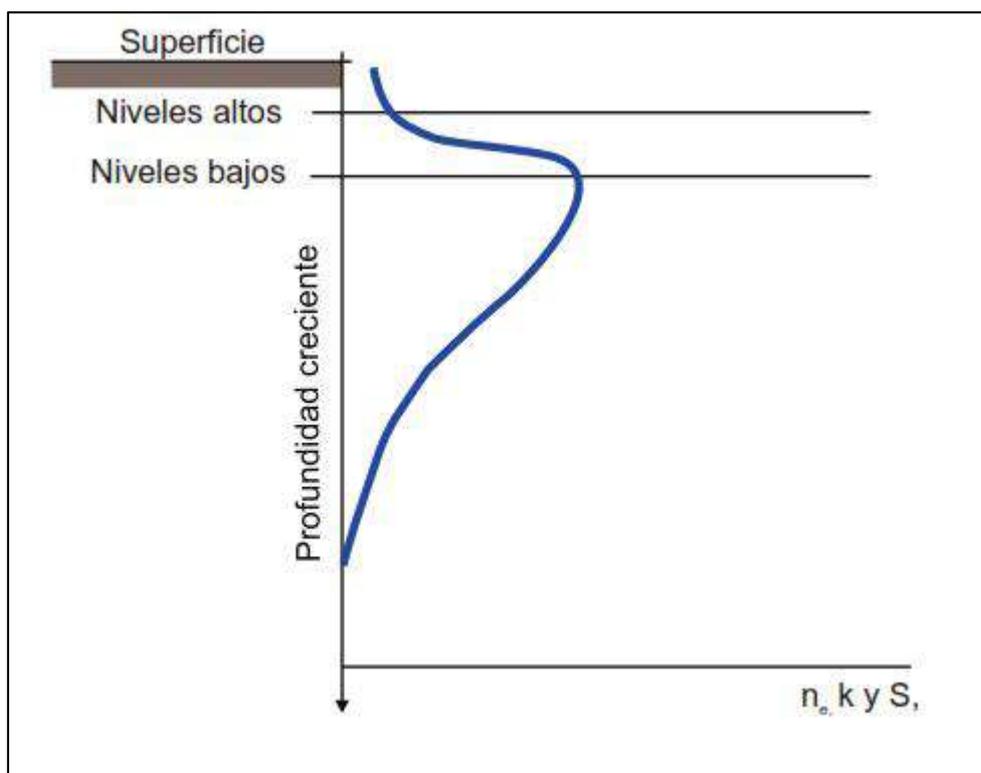


Ilustración 2.14 Variación de n , K y S con la profundidad. Fuente: (PULIDO BOSH, *Principios de hidrogeología karstica.*, 2014)

Así pues, en la zona de aireación juegan un papel importante en la transmisión del agua las discontinuidades de desarrollo vertical y los planos de estratificación, y la zona de descompresión y de alteración de existir acuífero epikárstico: en la zona saturada son las discontinuidades de desarrollo horizontal; en todos los casos, la fracturación juega un papel básico. (PULIDO BOSH, *Principios de hidrogeología karstica.*, 2014)

2.2.5.1 Porosidad y permeabilidad en rocas carbonatadas

Las calizas por su composición y formación en orígenes marinos adquieren una reducida porosidad, como menciona (PULIDO BOSH, 2014) en investigaciones llevadas a cabo en prospección de hidrocarburos la permeabilidad sería muy baja, con permeabilidades máximas de 10^{-3} a 10^{-7} cm/s.

Tabla 2.1 clasificación de huecos y tipos de porosidad

ESCALA	HUECOS		TIPO DE POROSIDAD
Microscópica	Poros o intersticios	Intercristalina	Intercristalina
		Intergranular	Intersticial
	Microfisuras	Juntas de estratificación	Microfisural
Macroscópica		Conductos	De conductos

Fuente: (PULIDO BOSH, Principios de hidrogeología karstica., 2014)

Del cuadro se observan 4 porosidades de los cuales la intercristalina e intersticial son las que pueden almacenar agua gravífica si es que son de naturaleza oolítica por ejemplo. La porosidad de microfisuras corresponderían a los huecos que dejan las microfisuras, diaclasas, juntas de estratificación y esquistosidades, ya que se encuentran en zonas de falla y tuvieron una deformación sintectónica se observa este tipo de porosidad.

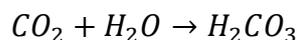
A nivel macroscópico la porosidad se refiere a las grandes fracturas karstificadas, rellenos, conductos, canales y cavidades producto de la karstificación y presencia de agua.

Las tres primeras porosidades se les puede englobar de forma genérica bajo el nombre de porosidad matricial o de la matriz. (PULIDO BOSH, Principios de hidrogeología karstica., 2014)

2.2.5.2 Karstificación

Para este proceso de las rocas carbonatadas está basada en 2 factores, químico (corrosión) y otro más mecánico y físico (erosión). Para el inicio del proceso el factor dominante debe de ser la corrosión, luego actúa los procesos físicos mecánicos de erosión incluso a ser más relevante.

En la naturaleza el compuesto que condiciona mayormente la disolución es el anhídrido carbónico (CO₂) donde al disolverse en agua reacciona dando lugar a un ácido carbónico según la reacción:



Cuando mayor cantidad exista en el aire de CO₂ será mayor su presencia en el agua asimismo la descomposición de la materia orgánica desprende grandes cantidades, de esta manera en suelos con vegetación pueden alcanzar valores altos agregando a esto que en climas fríos la escorrentía es mayor que en los cálidos.

En el agua el ácido carbónico se disocia casi por completo:



Los iones H⁺ producidos reacciones con CO₃²⁻ dando lugar a CO₃H⁻, al eliminar CO₃²⁻ del agua el equilibrio varia disolviéndose más CaCO₃.

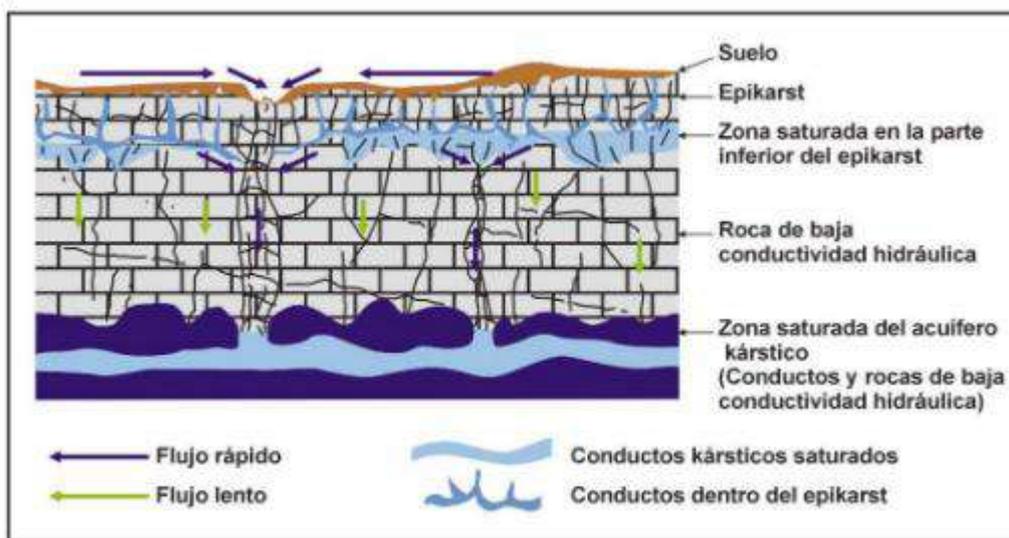


Ilustración 2.15 Representación esquemática de los procesos hidrogeológicos. Fuente: Modificado de OFEFP 1998.

2.2.6 HIDROGEOQUÍMICA

La hidrogeoquímica es una ciencia interdisciplinaria que es la compilación de varias ciencias, como son la química del agua, que estudia los procesos y reacciones químicas que afectan la distribución y circulación de especies disueltas en aguas naturales, combinada con la geología y la biología.

La hidrogeoquímica nos permite establecer la correlación entre los componentes geoquímicos del agua subterránea y su relación con las rocas y suelos que las contienen.

a) Parámetros físico-químicos del agua.

- Temperatura (T°)

El agua de los acuíferos puede recibir calor procedente de fuentes como reacciones químicas, por pérdida de carga en la circulación, cuyos aportes son pequeños, mientras que el aporte por calor interno o gradiente geotérmico es prácticamente constante durante largos periodos de tiempo.

- Potencial de hidrogeniones (pH)

El PH o potencial de hidrogeniones, expresado matemáticamente constituye el antilogaritmo de H^+ es decir el $PH = -\log (H^+)$. Para un agua pura a 25° se cumple que $(H^+) = (H^+)$, siendo el $PH = 7$.

Por lo general varía entre 6.5 a 8.5 a los que se considera como neutras, y los menores a 6.5 son ácidas y las mayores a 8.5 son alcalinas.

- Conductividad eléctrica (CE)

Es la capacidad que tienen un cuerpo o una solución, de permitir el paso de la corriente eléctrica o de facilitar el paso de electrones a través suyo. Se mide como la conductividad existente entre dos electrodos de 1cm^2 de superficie cada uno separados a un cm y situados en el agua a medir. La unidad de medida que tiene este parámetro es el microsiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y debe mencionarse

la temperatura de referencia, ya que los valores de CE aumentan a mayor temperatura a razón de 2% /°C (CUSTODIO & LLAMAS, 1996) además la CE es mayor cuando mayor es el contenido de sustancias disueltas en el agua subterránea.

- **Total de solidos disueltos (TDS)**

El agua molecular está formado por dos átomos de oxígeno y uno de hidrogeno en su estado puro, pero el agua subterráneo no se encuentra en su estado puro, por lo que presenta otros componentes que en su mayoría se encuentran disueltos en forma iónica (cationes y aniones), coloides (hidróxidos de Si, Al, Fe), materia orgánica y gases disueltos. Para describir estos componentes, se distinguen 3 grupos, los cuales son.

b) Elementos mayoritarios

Son los componentes que se encuentran en las aguas subterráneas en cantidades superiores a 5 mg/L, y por lo general se encuentran presentes casi siempre, constituyendo casi la totalidad de los iones disueltos. Dentro de este grupo se considera a los aniones Cloros, Sulfato, Bicarbonato y cationes Sodio, Calcio y Magnesio. (NG Cutipa, 2014)

c) Elementos minoritarios

Son los componentes que se encuentran en aguas subterráneas en cantidades de entre 10 a 0.01 mg/L, aunque a veces puede sobrepasarse ese rango. Entre ellos, se considera a los aniones Nitrato, Carbonato, Nitrito, Flúor y los cationes Potasio, Hierro, Hierro ferroso (Fe⁺⁺), Amonio, Estroncio. (NG Cutipa, 2014)

d) Elementos traza

En este grupo, se considera los componentes que se encuentran en concentraciones menores a 0.1 mg/L, como los iones Bromo, Nitrito, Manganeso, Aluminio, Arsénico, Antimonio, Cromo , Hierro férrico (Fe⁺⁺⁺), plomo, cobre, Zinc, Mercurio, Uranio, etc. En algunos casos también, las

concentraciones de estos elementos pueden ser mayores al rango mencionado, sobre todo en aguas mineralizadas o termales. (NG Cutipa, 2014)

“Las aguas ligadas a acuíferos carbonatados presentan facies bicarbonatadas cálcicas y/o cálcico-magnésicas aumentando la relación $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ con el contenido en dolomita de la roca, pudiendo superar a la unidad.” (PULIDO BOSH, PRINCIPIOS DE HIDROGEOLOGÍA KARSTICA, 2014, pág. 247).

De una forma general se puede decir que la concentración en sales aumenta desde las áreas de recarga a las de descarga, y de superficie a profundidad (en muchos casos se ha comprobado la existencia de una zonación hidrogeoquímica, con notable aumento del contenido con la profundidad).

Los iones mayoritarios son: CO_3H^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . El contenido en CO_3H^- de las aguas es muy variable y función de una serie de factores que ya se vieron. Normalmente oscila entre 150 y 350 mg/l, con valores más elevados con el aumento en SO_4^{2-} y Cl^- de las aguas. Su origen es el ataque químico de la caliza y dolomía. Su contenido aumenta de forma notable como consecuencia del incremento de la $p\text{CO}_2$, que procede de la descomposición de la materia orgánica, en los procesos de contaminación. De este mismo ataque derivan el Ca^{2+} y el Mg^{2+} (aunque también procede de la existencia de yesos y carnalita) cuya relación $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ suele aumentar de las zonas de recarga a las de descarga, para una misma litología, y llega a caracterizar la intrusión marina ($r\text{Mg}/r\text{Ca}$ próximo a 5 en el agua de mar). Están sometidos al cambio de base (Ca^{2+} y Mg^{2+} por Na^+ ; $\text{icb} = [\text{rCl} - \text{r}(\text{Na}+\text{K})]/\text{rCl}$;

Una disminución supone un ablandamiento, y al contrario, un endurecimiento. El contenido en Ca^{2+} suele oscilar entre 50 y 100 mg/l, mientras que es mucho más variable para el Mg^{2+} que puede oscilar entre 0 y unos 70 mg/l.

El ion Cl^- , de no existir sales, suelen proceder del agua de lluvia, con valores que raramente alcanza los 20 mg/l. Es muy estable, de ahí su interés en el empleo como elemento guía en una metodología de balances hidrológicos. Cuando existen sales de Cl, al ser extremadamente solubles, es el ion dominante. La relación $r_{\text{Cl}^-}/r_{\text{CO}_3\text{H}^-}$ se suele emplear como caracterizante de fenómenos de intrusión marina ya que en aguas continentales oscila alrededor de 0,1 (eventualmente 5) y en marinas entre 20 y 50. Sufre una evolución temporal como consecuencia de la ETR que lo concentra en épocas secas y lo disuelve en las primeras lluvias tras el estiaje.

El ion SO_4^{2-} es poco abundante en el medio calizo-dolomítico, aunque siempre suele estar presente; procede de la disolución de yesos que pueden existir en pequeñas proporciones, y de la oxidación de sulfuros (pirita y otros, siempre presentes en el medio). Se ve sometido a procesos de reducción, hecho que puede ser empleado como indicador para determinar contaminaciones de origen orgánico. Los NO_3 pueden proceder en pequeñas cantidades de las tormentas y de los ácidos húmicos; en valores superiores a los 10-30 mgr/l, hay que buscar su origen en procesos de contaminación por materia orgánica; se reducen pudiendo pasar a NO_2 y NH_4 o al revés. (PULIDO BOSH, PRINCIPIOS DE HIDROGEOLOGÍA KARSTICA, 2014)

2.2.6.1 Representación de datos hidroquímicos

En esta representación de datos hidroquímicos se desarrollan y se emplean los gráficos clásicos Schoeller-Berkaloff (con su variante de Durov), Piper y Stiff. “Los dos primeros admiten más de una muestra y tienen la ventaja de identificar rápidamente posibles procesos tales como mezclas, intercambios, disoluciones y precipitaciones mientras que el tercero solamente una.” (PULIDO BOSH, PRINCIPIOS DE HIDROGEOLOGÍA KARSTICA, 2014, pág. 250)

a) Diagrama de Schoeller-Berkaloff

En el diagrama de Schoeller, se lleva a intervalos regulares sobre ejes divididos según una escala logarítmica, el contenido en mg/l de los principales iones contenidos en el agua. Paralela a

las ordenadas, existe en ambos extremos otros ejes logarítmicos, que permiten de inmediato transformar los mg/l de cada elemento representado, en meq/l, también expresa su concentración en forma de compuestos en mg/l, tal como se indicaban antiguamente en los análisis químicos. En este diagrama se aprecia claramente la mayor presencia del anión sulfato, igualmente la presencia de los cationes calcio y magnesio, corroborando como aguas bicarbonatadas sulfatadas con calcio y magnesio.

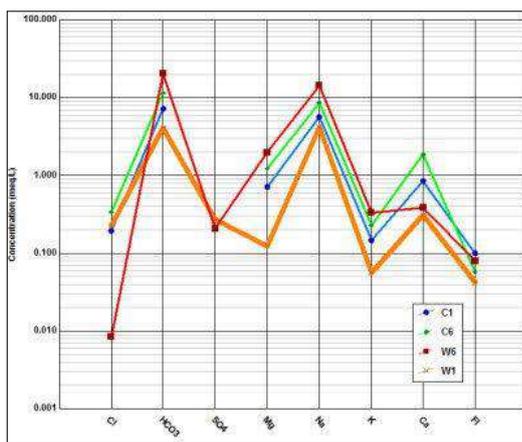


Ilustración 2.16 Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Fuente: (PULIDO BOSH, 2014)

b) Piper

El diagrama triangular de Piper se utiliza para la representación de las proporciones de los tres componentes en la composición de una sustancia.

En hidroquímicos se utiliza un triángulo para los aniones (CO_3H^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) y otro para los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), donde el diagrama de Piper se representa por dos triángulos, (aniones y cationes) con un rombo que recoge la información de ambos triángulos.

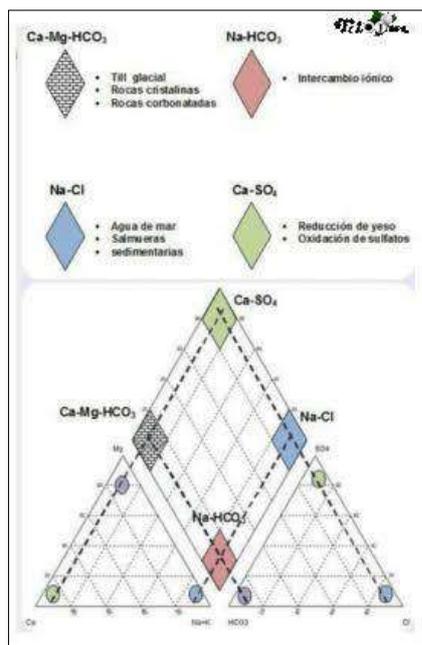


Ilustración 2.17 Diagrama de Piper. Fuente: (PULIDO BOSH, 2014)

c) Stiff

El diagrama de Stiff es una representación gráfica para la interpretación de la ionización de la muestra de agua, este diagrama es usado para identificar fácilmente a la familia de una determinada fuente, establecer comparaciones y determinar las concentraciones de los componentes principales en mili equivalentes por litro (meq/l). El perfil de los cationes principales Na + K, Ca, Mg son representados a la izquierda y los aniones principales Cl, HCO₃ + CO₃ y SO₄ son representados a la derecha. Estos diagramas nos permiten visualizar las tendencias de calidad de agua sobre un mapa hidroquímico.

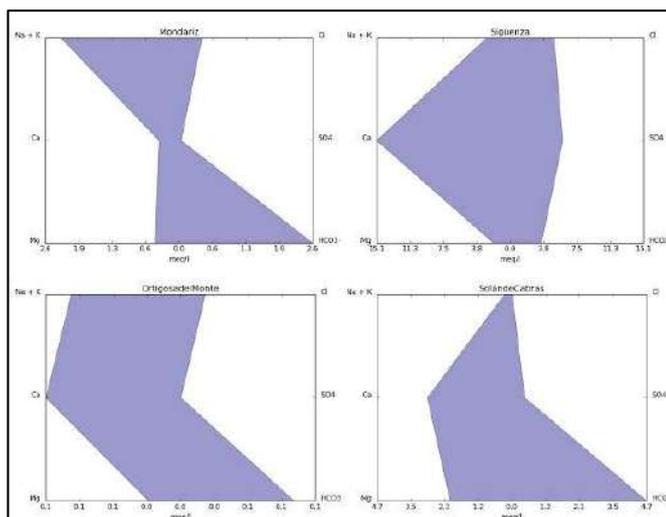


Ilustración 2.18 Diagramas de Stiff. Fuente: (PULIDO BOSH, 2014)

CAPITULO III: CARACTERIZACION GEOMORFOLOGICA

3.1 ASPECTOS GENERALES

La zona de estudio regionalmente está comprendida dentro de 2 unidades morfo estructurales como son altiplano occidental y cordillera oriental descritos en el capítulo de marco teórico; pero para poder clasificar las unidades geomorfológicas a nivel de la zona de estudio es necesario realizar el análisis de pendientes previo un levantamiento topográfico a detalle, luego un análisis fisiográfico y de esta manera poder obtener un levantamiento de datos para cada geoforma local según la litología que lo conforma, estos procedimientos se muestran en esta sección del trabajo de tesis.

3.2 ANALISIS DE PENDIENTES Y FISIOGRAFIA

En base al levantamiento topográfico se genera los niveles de inclinación del terreno con parámetros propuestos por la Food and Agriculture Organization of the United States (FAO) indicados en la tabla de pendientes previo procesamiento y análisis en el SIG.

Fotografía 3.1 Etapa de levantamiento topográfico con estación total TOPCOM.



Fuente: Propia

Tabla 3.1 Distribución de pendientes de la zona de estudio.

CLASE	PENDIENTE (°)	COLOR	DESCRIPCION	AREA (Ha)
I	0-4		Muy suave	26.272475
II	4-8		Suave	17.703705
III	8-15		Media	63.007596
IV	15-25		Moderada	52.222259
V	25-50		Empinada	15.892933
VI	>50		Fuertemente Empinada	0.987502
				176.086470

Fuente: Elaboración propia

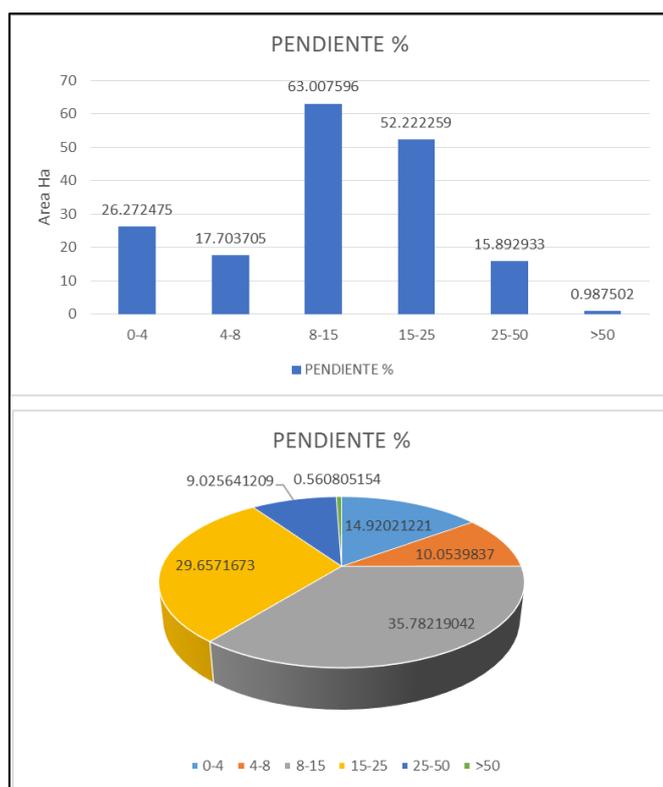


Ilustración 3.1 Distribución de pendientes por Hectáreas y porcentajes. Fuente: Elaboración propia

El 35% de la superficie representa a superficies de pendientes medias (8-15), seguidamente del 29% ocupado por pendientes moderadas (15-25) que ocupan las áreas más grandes. En segundo orden están el 14% de superficies con pendientes muy suaves (0-4) que corresponde al depósito aluvial de Pucamarca en el cual se encuentra la zona urbana y áreas de cultivo, seguido por el 10%

de superficies con pendientes suaves (4-8) y un 9 % de superficies empinadas (25 – 50). Por ultimo las pendientes con ángulos mayores a 50° representan en menor porcentaje con un 0.98 % que corresponden a laderas de afloramientos de calizas.

Una vez caracterizado los parámetros de pendiente se usó la metodología propuesta por (Serrato Álvarez, 2009) el cual fue basada en los trabajos de Villota y Botero y complementada que se tiene hasta el momento para caracterizar unidades fisiográficas a nivel local.

Tabla 3.2 Unidades fisiográficas de la zona de estudio

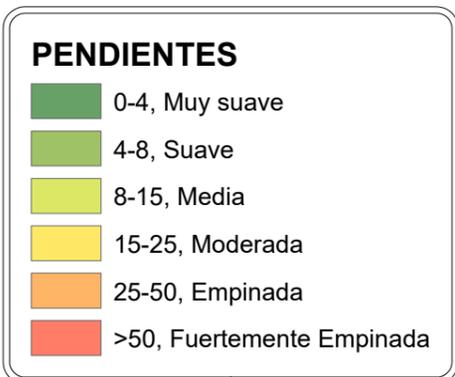
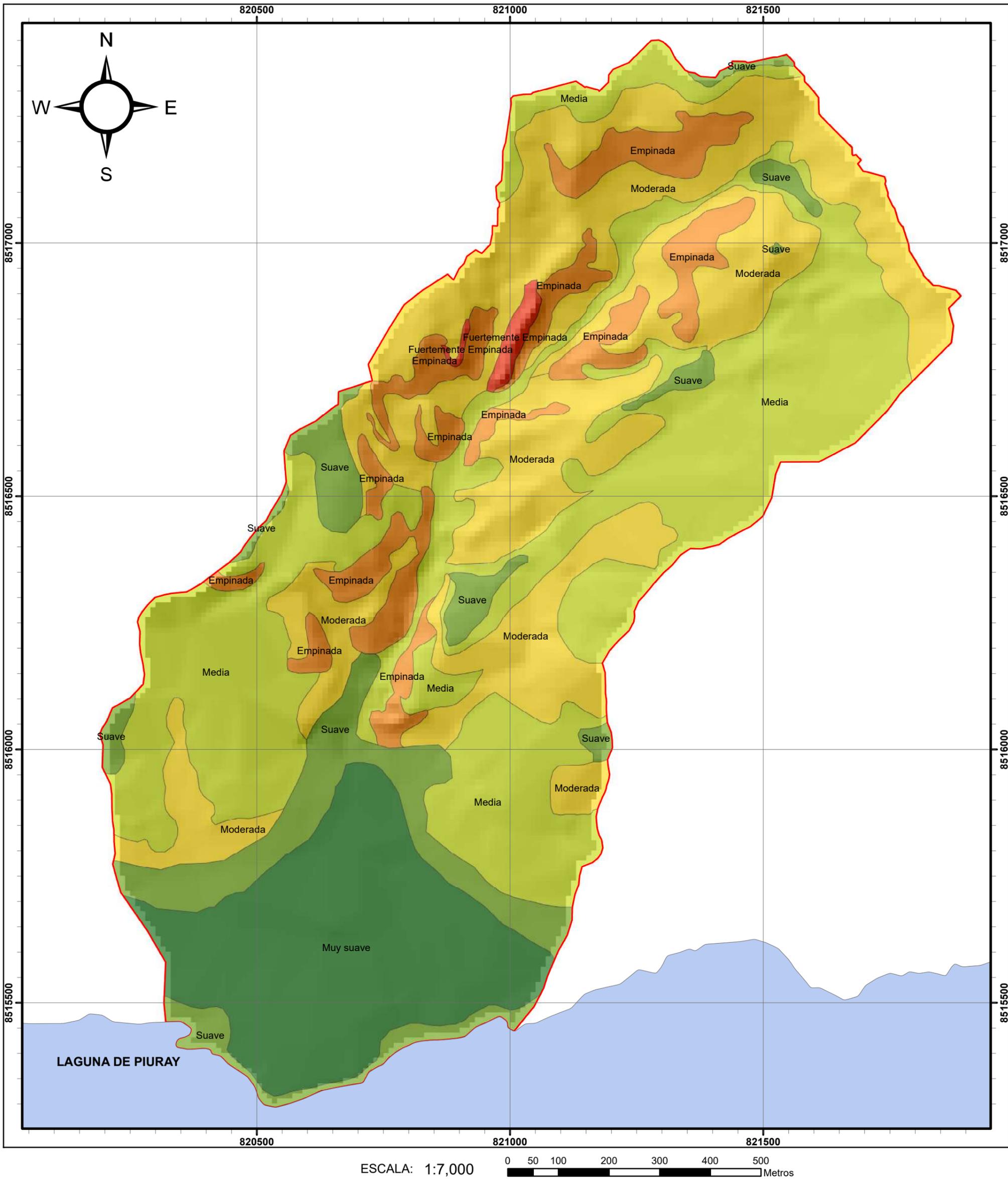
PROVINCIA FISIOGRAFIA	GRAN PAISAJE	PAISAJE	SUBPAISAJE	SIMB	Área Ha	KM2	%
Altiplano - Cordillera Andina	Altiplano	Planicie aluvial	Orillar lacustre	OL	2.53	0.03	1.44
			Cono aluvial	CA	26.27	0.26	14.92
			Terrazas altas	TA	4.83	0.05	2.75
	Relieve montañoso kárstico	Cerro kárstico	Laderas ligeramente inclinadas	LLI	9.71	0.10	5.52
			Laderas ligeramente empinadas	LLE	63.01	0.63	35.78
			Laderas moderadamente empinadas	LME	52.22	0.52	29.66
			Laderas empinadas	LE	15.89	0.16	9.03
			Laderas fuertemente empinadas	LFE	0.99	0.01	0.56
			Cima	C	0.63	0.01	0.36
					176.08	1.76	100

Fuente: Elaboración propia.

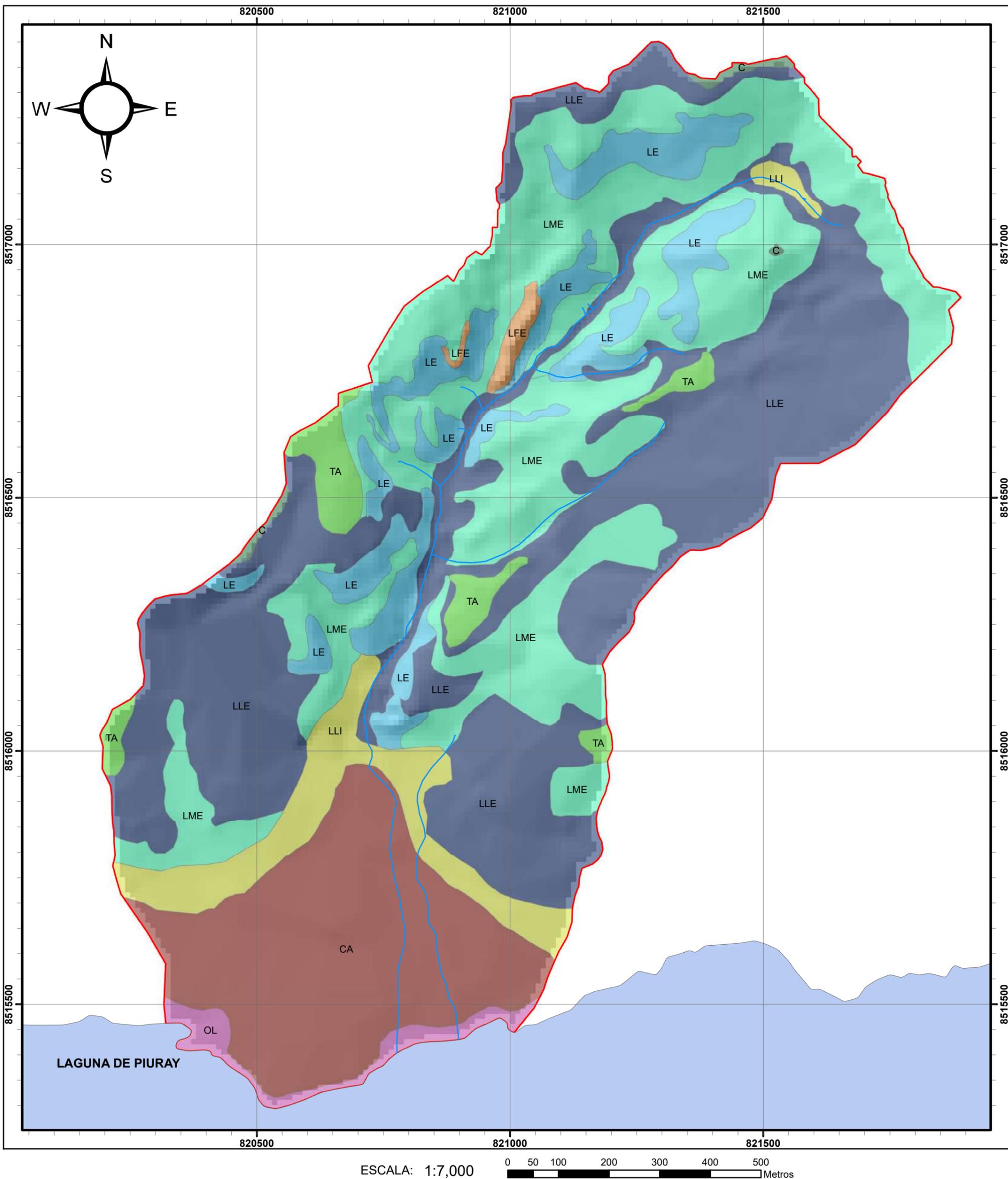
En la zona se identificaron 9 unidades fisiográficas de subpaisaje, el 35.78 % con una extensión de 0.63 km2 está conformado por laderas ligeramente empinadas, el 29.66 % representa laderas moderadamente empinadas con una extensión de 0.16 km2, ambas unidades ubicadas en mayor parte en la parte alta y media de la Quebrada de Pucamarca.

Un 14 % de superficie representa al cono aluvial de Pucamarca ubicada en la parte baja de la zona de estudio con un área de 0.26 km2.

Las unidades de subpaisaje con áreas menores no superan el 10% de superficie cada uno, tal como se muestran en la tabla de unidades fisiográficas.

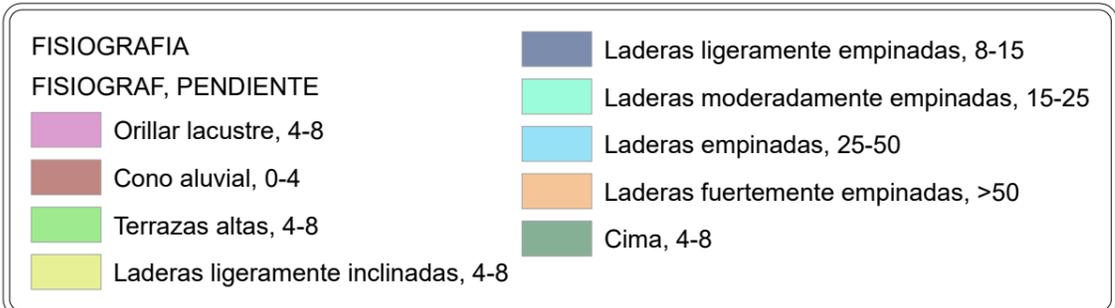


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PLANO:		PENDIENTES
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"		
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM: 19 S WGS 84
PROVINCIA:	URUBAMBA	ELABORADO:
DISTRITO:	CHINCHERO	Bch. Carlos William Huaman Sucho Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela
COMUNIDAD:	CCAMU - PUCAMARCA	Asesor: Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana
	FECHA: Enero 2020	ESCALA: 1:7000
		P-03



ESCALA: 1:7,000

0 50 100 200 300 400 500 Metros



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>			
PLANO:		FISIOGRAFICO	
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"			
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM:	19 S WGS 84
PROVINCIA:	URUBAMBA	ELABORADO:	Bch. Carlos William Huaman Sucho Bch. Yusef Gavino Valenzuela Valenzuela
DISTRITO:	CHINCHERO	Asesor:	Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana
COMUNIDAD:	CCAMU - PUCAMARCA	FECHA:	Enero 2020
		ESCALA:	1:7000
			P-04

3.3 GEOMORFOLOGIA LOCAL

Para obtener las unidades geomorfológicas se realizó un análisis con los datos fisiográficos y los polígonos de carácter geológico litológico, de esta manera se pudieron obtener las geoformas a una escala local identificándose 16 unidades.

Tabla 3.3 Descripción de unidades geomorfológicas a escala local.

GEOMORFOLOGICAS	AREA (Ha)	AREA Km2
LOMAS SEDIMENTARIAS	0.33	0.003
LOMAS KARSTICAS	0.30	0.003
LADERAS FUERTEMENTE EMPINADAS KARSTICAS	0.99	0.010
LADERAS EMPINADAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS	0.82	0.008
LADERAS EMPINADAS	0.64	0.006
LADERAS EMPINADAS KARSTICAS	14.44	0.144
LADERAS MODERADAMENTE EMPINADAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS	7.76	0.078
LADERAS MODERADAMENTE EMPINADAS	2.32	0.023
LADERAS MODERADAMENTE EMPINADAS KARSTICAS	42.14	0.421
LADERAS LIGERAMENTE EMPINADAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS	20.34	0.203
LADERAS LIGERAMENTE EMPINADAS	4.63	0.046
LADERAS LIGERAMENTE EMPINADAS KARSTICAS	39.63	0.396
LADERAS LIGERAMENTE INCLINADAS	8.12	0.081
TERRAZAS ALTAS KARSTICAS	4.48	0.045
TERRAZAS ALTAS SEDIMENTARIAS	0.35	0.003
CONO ALUVIAL	28.80	0.288
	176.09	1.761

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Lomas

3.3.1.1 Lomas Sedimentarias

Esta unidad está caracterizado por presentar formas redondeadas en relieve, está constituido por rocas sedimentarias detríticas de la Formación Puquín con un área de 0.30 hectáreas.

3.3.1.2 Lomas kársticas

Geoforma constituido por materiales de la Formación Maras y Ayabacas por lutitas, limos, yesos y calizas, constituyen 0.3 hectáreas.

3.3.2 Laderas

3.3.2.1 Laderas fuertemente empinadas kársticas

Vertientes fuertemente empinadas de relieves muy accidentados constituidos por afloramientos de calizas fracturadas, presentan ángulos mayores a 50°.

En esta unidad geomorfológica sobre las calizas se observan formas exokársticas como son Lapiaces que son acanaladuras o surcos ocasionados por el agua asociados a fisuras por donde existe infiltración de agua ya que los rellenos tienen buena permeabilidad.

Fotografía 3.2 Laderas fuertemente empinadas de calizas. Se observa la fracturación y formas exokársticas como los lapiaces



Fuente: Propia

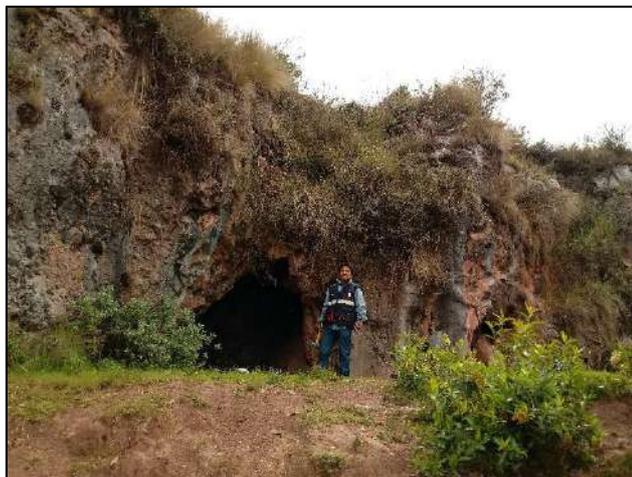
3.3.2.2 Laderas empinadas de rocas sedimentarias

Vertientes con relieves de terrenos con topografía accidentada de 25 a 50 formados sobre rocas sedimentarias de la Formación Puquín, abarca 0.82 hectáreas.

3.3.2.3 Laderas empinadas

Compuesta por depósitos aluviales en la quebrada de Pucamarca cubriendo rocas carbonatadas y formando pendientes de 25 a 50, conforman solo 0.64 hectáreas.

Fotografía 3.3 Cavernas de origen por disolución kárstica encontrado en esta unidad geomorfológica



Fuente: Propia

3.3.2.4 Laderas empinadas kársticas

Laderas con pendientes de 25 a 50 conformado por materiales de la formación Maras y Ayabacas, abarcan 14.44 hectáreas que es una buena representación espacial en el cual también se encuentran áreas de recarga de los acuíferos, en zonas donde afloran calizas también se encuentran formas exokársticas de lapiares.

Fotografía 3.4 Forma exokársticas Lapiaz



Fuente: Propia

3.3.2.5 Laderas moderadamente empinadas de rocas sedimentarias

Vertientes con pendientes entre 15 – 25, estas unidades geomorfológicas se encuentran formadas sobre rocas sedimentarias que son Areniscas feldespáticas y lutitas. Ocupan 7.76 hectáreas.

3.3.2.6 Laderas moderadamente empinadas

Estas unidades están conformado por depósitos cuaternarios con pendientes de 15 – 25, representan un área de 2.32 hectáreas.

3.3.2.7 Laderas moderadamente empinadas kársticas

Esta unidad geomorfológica ocupa un área de 42.14 hectáreas conformado por calizas y depósitos de la Formación Maras, abarca gran parte de la zona de estudio incluyendo zonas de recarga.

3.3.2.8 Laderas ligeramente empinadas de rocas sedimentarias

Está conformado por depósitos con pendientes entre 8 – 15 de la Formación Puquín y Quilque Chilca, ocupan una extensión de 7.76 hectáreas.

3.3.2.9 Laderas ligeramente empinadas

Laderas de 8 – 15 de pendiente conformado por depósitos aluviales a lo largo de la quebrada de Pucamarca, tiene una extensión de 4.63 hectáreas.

3.3.2.10 Laderas ligeramente empinadas kársticas

Compuestas con depósitos de la Formación Maras y afloramientos Ayabacas, abarcan un área de 39.63 hectáreas principalmente el área media de la Quebrada.

3.3.2.11 Laderas ligeramente inclinadas

Con pendientes de 4 – 8, está conformado por depósitos aluviales parte del abanico aluvial de Pucamarca ubicada en los flancos de esta unidad, abarca 8.12 hectáreas.

3.3.3 Cono aluvial

3.3.3.1 Cono aluvial

Geoforma que conforma depósitos cuaternarios de origen aluvial, sedimentado por el transporte y flujo lento del agua y materiales finos con algunas gravas, presenta pendientes de 0 – 8 y un área de 28.8 área donde se encuentra la zona urbana de Pucamarca y áreas de cultivos.

Fotografía 3.5 Cono aluvial de Pucamarca, vista con dirección hacia la quebrada.



Fuente: Propia.

3.3.4 Terrazas altas

3.3.4.1 Terrazas altas kársticas

Geoformas con relieve llano a ondulado con pendientes de 4 - 8 conformado por depósitos de la Formación Maras, conforma un área de 4.48 hectáreas. No se pudo observar dolinas pero es probable la formación años más tarde ya que existe buena probabilidad de ocurrir en zonas llanas y la susceptibilidad de disolución de los componentes carbonatados de estos depósitos. Hacia el Oeste de la zona de investigación por el sector de Ccamu se encontró una dolina de subsidencia sobre este tipo de geoformas.

Fotografía 3.6 Dolina por subsidencia ubicada hacia el oeste de la zona de estudio



Fuente: Propia.

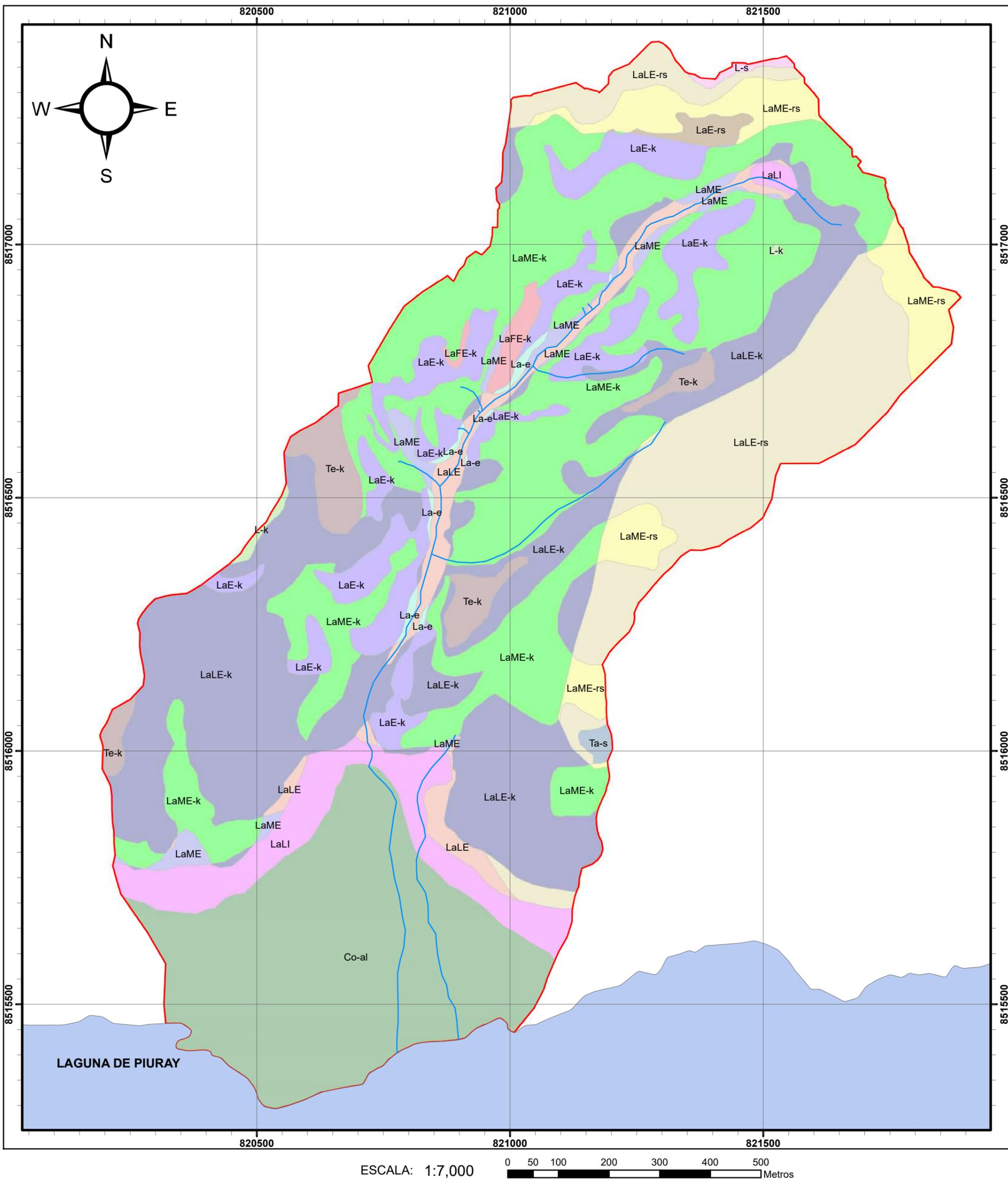
3.3.4.2 Terrazas altas sedimentarias

Al igual que las terrazas kársticas presenta pendientes de 4 – 8 pero de composición de areniscas y lutitas cubiertas por depósitos eluviales. Ocupa una extensión de solo 0.35 hectáreas.

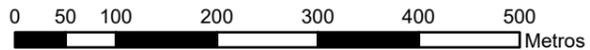
Fotografía 3.7 Terrazas sobre formaciones sedimentarias y suelos residuales de origen de lutitas.



Fuente: Propia



ESCALA: 1:7,000



LEYENDA

GEOMORFOLOGIA

- | | |
|--|--|
| CONO ALUVIAL | LADERAS LIGERAMENTE INCLINADAS |
| LADERAS EMPINADAS | LADERAS MODERADAMENTE EMPINADAS |
| LADERAS EMPINADAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS | LADERAS MODERADAMENTE EMPINADAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS |
| LADERAS EMPINADAS KARSTICAS | LADERAS MODERADAMENTE EMPINADAS KARSTICAS |
| LADERAS FUERTEMENTE EMPINADAS KARSTICAS | LOMAS KARSTICAS |
| LADERAS LIGERAMENTE EMPINADAS | LOMAS SEDIMENTARIAS |
| LADERAS LIGERAMENTE EMPINADAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS | TERRAZAS ALTAS KARSTICAS |
| LADERAS LIGERAMENTE EMPINADAS KARSTICAS | TERRAZAS ALTAS SEDIMENTARIAS |

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		
PLANO: GEOMORFOLOGIA LOCAL		
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"		
DEPARTAMENTO: CUSCO	DATUM: 19 S WGS 84	LAMINA:
PROVINCIA: URUBAMBA	ELABORADO: Bch. Carlos William Huaman Sucso Bch. Yusef Gavino Valenzuela Valenzuela	P-05
DISTRITO: CHINCHERO	Asesor: Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana	
COMUNIDAD: CCAMU - PUCAMARCA	FECHA: Enero 2020	ESCALA: 1:7000

3.4 PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS

Para poder entender el funcionamiento de una superficie hidrográfica es necesario conocer sus características físicas y las condiciones climáticas que condicionan. La quebrada actúa como un colector de las precipitaciones y dentro de esta ocurren procesos como son de escorrentía, infiltración, evaporación y otros procesos, para tal se tiene la caracterización en esta sección.

3.4.1 Clasificación hidrográfica de la zona de estudio

El área de investigación por el área de 1.76 km² se encuentra dentro de la unidad de Quebrada con un orden de 2° según la Metodología de priorización de cuencas por la DSMC – DGASI.

Tabla 3.4 Rangos por área de unidades geográficas

Unidad Hidrográfica	Área (km ²)	Orden de drenaje Horton y Strahler
Quebrada	<10	1,2
Microcuenca	10 - 100	1, 2 o 3
<u>Sub cuenca</u>	100 - 700	4 o 5
<u>Cuenca</u>	700 - 6000	> 6

Fuente: Metodología de priorización de cuencas por la DSMC – DGASI.

3.4.2 Superficie

3.4.2.1 Área de la quebrada (Aq).

Es la superficie limitada por el polígono de delimitación de divisoria de aguas, presenta un área total de 1.76087 km².

3.4.3 Elementos de distancia

3.4.3.1 Perímetro (P).

Es la longitud de la línea divisoria o el polígono de delimitación de la Quebrada, tiene un perímetro de 6.47282 kilómetros.

3.4.3.2 Longitud total (L)

Es la longitud medida del cauce principal de microcuenca o quebrada, para este caso tiene una longitud de 2.21 km.

3.4.3.3 Ancho promedio (AP)

Es el cociente de dividir el área de la microcuenca o quebrada entre la longitud axial, para el caso de la zona es de 0.796774 km.

3.4.3.4 Centro de gravedad (CG)

Geoméricamente definido como el baricentro de la forma de la cuenca, presenta como coordenadas UTM 18L E: 820970 N: 8516360

3.4.4 Elementos de forma

3.4.4.1 Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

Parámetro adimensional relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico, está representada por la siguiente ecuación.

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Tabla 3.5 Tabla de valores de compacidad

VALORES DE Kc	FORMA
1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: FAO

El área de estudio comprende un Kc de 1.375 con forma oval redonda a oval oblonga.

3.4.4.2 Factor de forma (Ff).

Representa la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado de la longitud del cauce principal (L), este resultado denota la forma redondeada o alargada de la microcuenca o quebrada.

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Tabla 3.6 Rangos aproximados del factor forma

Factor de forma	Forma
<0.22	Muy alargada
0.22 – 0.3	Alargada
0.3 – 0.37	Ligeramente alargada
0.37 – 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 – 0.6	Ligeramente ensanchada
0.6 – 0.8	Ensanchada
0.8 – 1.2	Muy ensanchada
>1.2	Rodeando el desagüe

Fuente: (Perez, 1979)

El área de estudio presenta un valor de Ff = 0.36 con una forma ligeramente alargada

3.4.4.3 Rectángulo equivalente:

Es el equivalente a una figura rectangular ideal de la superficie de la microcuenca o quebrada en donde las curvas de nivel son curvas paralelas perpendiculares al lado mayor.

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - A}$$

$$l = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - A}$$

Los parámetros de la zona de estudio son L: 2.54 y l: 0.69.

3.4.5 Elementos de relieve

Tabla 3.7 Tabla de datos para el cálculo de los elementos de relieve

Nº	1		2	3	4	5	6	7	8
	COTAS		COTA MEDIA	AREA PARCIAL	∑ ÁREAS	% del TOTAL	% AREA ACUMULADA POR ENCIMA de COTAS	COTA	2 × 3
	MIN	MAX	(msnm)	(km2)	(km2)			(msnm)	km2*m
			(ai)	(hi)			100	3810	
1	3695	3715	3705	0.25669	0.257	14.58	85.42	3715	951.04
2	3715	3740	3727.5	0.197015	0.454	11.19	74.23	3740	734.37
3	3740	3765	3752.5	0.129216	0.583	7.34	66.90	3765	484.88
4	3765	3790	3777.5	0.12664	0.710	7.19	59.70	3790	478.38
5	3790	3815	3802.5	0.148206	0.858	8.42	51.29	3815	563.55
6	3815	3840	3827.5	0.128515	0.986	7.30	43.99	3840	491.89
7	3840	3865	3852.5	0.137449	1.124	7.81	36.18	3865	529.52
8	3865	3890	3877.5	0.101958	1.226	5.79	30.39	3890	395.34
9	3890	3915	3902.5	0.140042	1.366	7.95	22.44	3915	546.51
10	3915	3940	3927.5	0.106366	1.472	6.04	16.40	3940	417.75
11	3940	3965	3952.5	0.12511	1.597	7.10	9.29	3965	494.50
12	3965	3990	3977.5	0.11211	1.709	6.37	2.93	3990	445.92
13	3990	4017.877	4003.938	0.051561	1.761	2.93	0.00	5742	206.45
			Área	1.76	Km ²	100.00			6740.11

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5.1 Altitud media de la cuenca (Hm)

Para determinar la altitud media resulta del cociente de dividir la sumatoria del producto del promedio de cotas y áreas parciales sobre el área de la Microcuenca o quebrada.

$$Hm = \frac{\sum ai * hi}{A}$$

El área de estudio tiene una altitud media (Hm) de 3827.7.

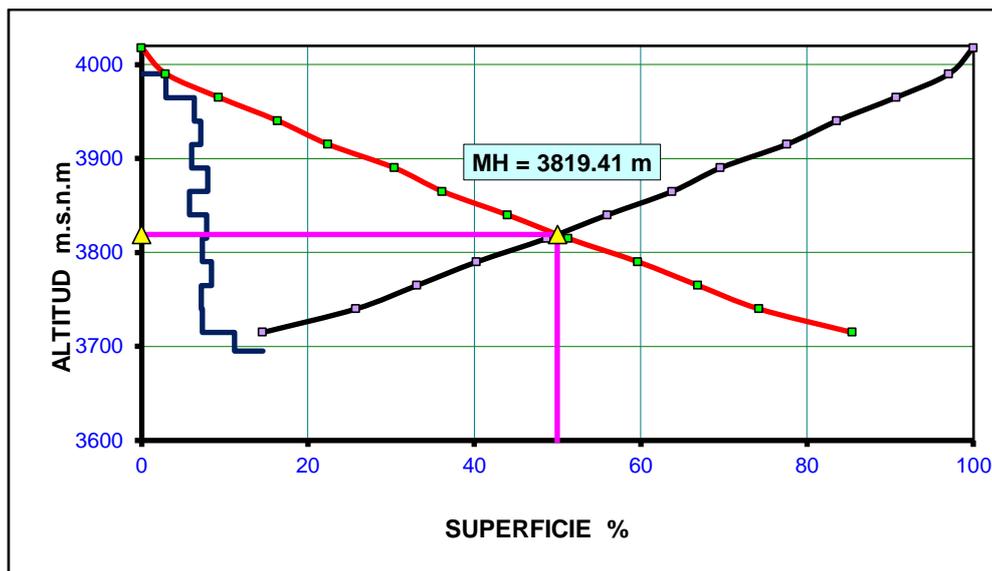


Ilustración 3.2 Curva hipsométrica de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la curva hipsométrica corresponde a una quebrada en equilibrio con un potencial de erosión moderado.

3.4.5.2 Mediana de la altitud (MH)

La mediana de la altitud se calcula por la interpolación con el 50 % de la superficie y la intersección con la curva hipsométrica, para este caso se tiene el valor de 3819.41 m.s.n.m.

3.4.6 Declividad de los terrenos

Tabla 3.8 Tabla de valores de declividad de terrenos

DECLIVIDAD DE LOS TERRENOS				
INDICE DE PENDIENTE		Ip	%	11
PENDIENTE MEDIA DE LA MC.		Pmc	%o	3.2
	Criterio de Jusstin		%	24.3
	Criterio del rectángulo Equivalente		%	12.7
Coeficiente orográfico		Co	m ² /km ²	8.32
Coeficiente de masividad		Cm	m/km ²	2173.7

Fuente: Elaboración propia

3.4.7 Parámetros hidromorfométricos

3.4.7.1 Forma del drenaje

En la quebrada de Pucamarca es del tipo dendrítico subparalelo con un control litológico, estructural.

3.4.7.2 Grado de ramificación

La clasificación está basada según el método de STRAHLER, con drenajes de 1 y 2 orden para la microcuenca o quebrada.

Tabla 3.9 Orden y longitud de drenaje

ORDEN	NUMERO DE DRENES	LONGITUD (Km)
1	11	1.88
2	1	2.21
	L. TOTAL	4.08

Fuente: Elaboración propia.

3.4.7.3 Orden del drenaje principal

El orden del drenaje principal corresponde a un orden de 2°, con una longitud de 2.21 km

3.4.7.4 Densidad de los drenajes

Definida como el cociente de la sumatoria de las longitudes de todos los drenajes y el área de la misma.

$$Dd = \frac{4.08}{1.76}$$

La densidad de drenaje para la zona de estudio es de Dd: 2.318

Finalmente para este acápite la delimitación de la Quebrada de Pucamarca tiene una orientación SW – NE partiendo desde el punto de descarga.



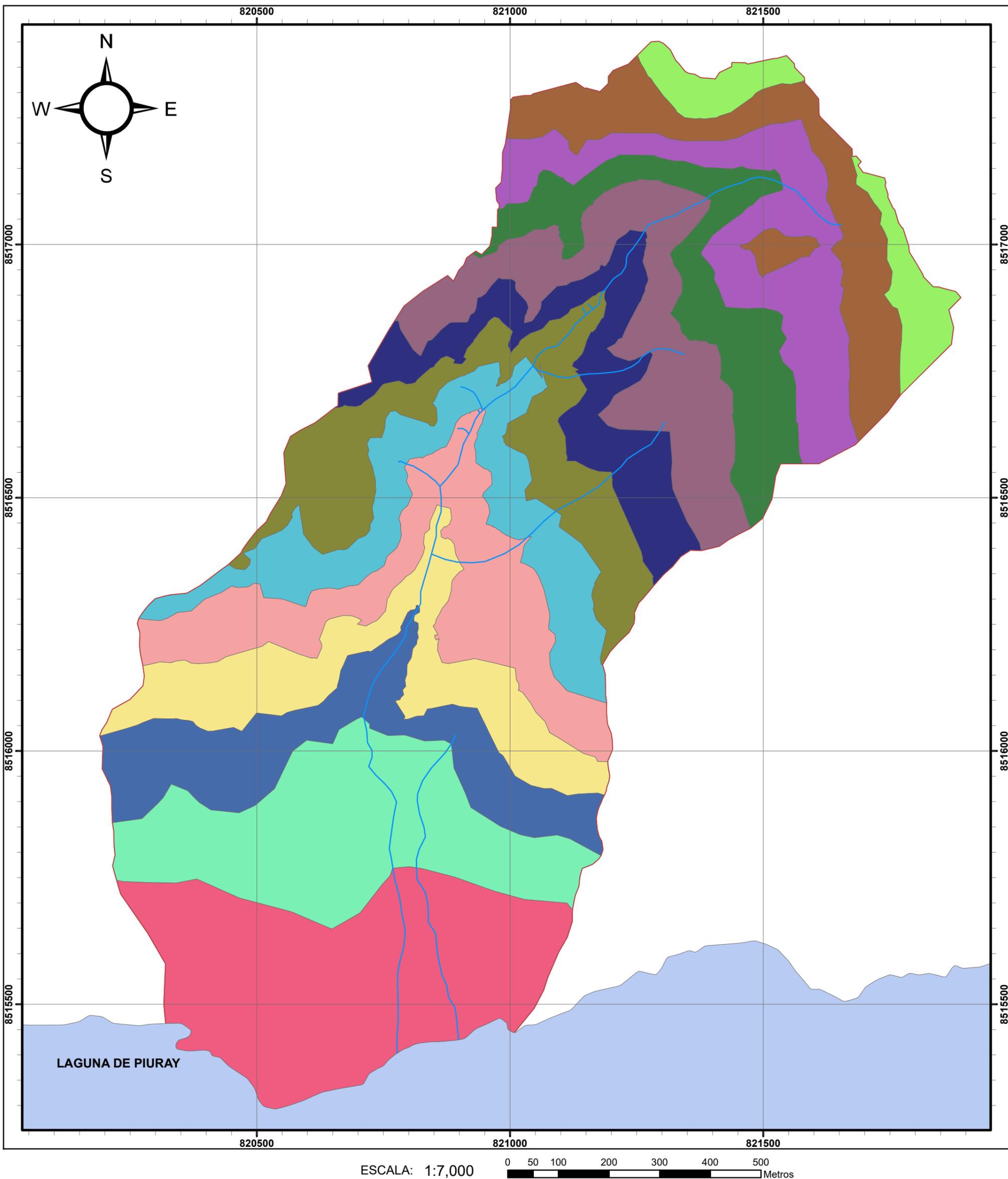
LEYENDA

DRENAJE ORDEN

— 1

— 2

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PLANO:		SISTEMA DE DRENAJE
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"		
DEPARTAMENTO:	DATUM:	LAMINA:
CUSCO	19 S WGS 84	P-06
PROVINCIA:	ELABORADO:	
URUBAMBA	Bch. Carlos William Huaman Suco Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela	
DISTRITO:	Asesor: Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana	
COMUNIDAD:	FECHA:	ESCALA:
CCAMU - PUCAMARCA	Enero 2020	1:7000



LEYENDA			
AREAS PARCIALES			
	3765 - 3790		3890 - 3915
COTAS			
	3695 - 3715		3915 - 3940
	3715 - 3740		3940 - 3965
	3740 - 3765		3840 - 3865
	3790 - 3815		3965 - 3990
	3815 - 3840		3990 - 4017.88
	3840 - 3865		
	3865 - 3890		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
PLANO:		AREAS PARCIALES	
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"			
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM:	19 S WGS 84
PROVINCIA:	URUBAMBA	ELABORADO:	Bch. Carlos Wilam Huaman Suco Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela
DISTRITO:	CHINCHERO	Asesor:	Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana
COMUNIDAD:	CCAMU - PUCAMARCA	FECHA:	Enero 2020
		ESCALA:	1:7000
			P-07

CAPITULO IV: CARACTERIZACION HIDROLOGICA

4.1 ASPECTOS CLIMATOLOGICOS

Para poder realizar análisis en un aspecto hidrológico en el ciclo del agua la precipitación se considera como componente de entrada o aporte hacia el sistema, en base a esto se realiza los estudios concernientes.

Para adquirir estos datos en la Quebrada de Pucamarca, se realizó el procesamiento de datos históricos de precipitación y Temperatura de estaciones cercanas al área de estudio; de esta manera se adquirió un modelo matemático de regionalización aproximada a la quebrada ya mencionada; en base a estos resultados se obtuvo datos de precipitaciones medias mensuales y total anual y evapotranspiración.

4.1.1 Red de estaciones meteorológicas

Para la quebrada de Pucamarca, se utilizó los datos de las estaciones de Anta (Ancachuro), Calca y Urubamba.

Tabla 4.1 Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD MEDIA msnm	LATITUD			LONGITUD			
		°	'	''	°	'	''	
URUBAMBA	2863	13	18	38	72	7	26	72.1238889
CALCA	3219	13	33	25	71	52	31	71.8752778
ANTA	3340	13	28	6	72	12	57	72.2158333

Fuente: SENAHMI

4.1.2 Precipitación

Es el proceso de condensación del agua que se deposita en un determinado lugar, estos datos obtenidos en las estaciones meteorológicas se puede obtener mediante métodos aritméticos,

polígono de Thiesen, Isoyetas, determinísticos (regresión lineal) los que son más usados en la hidrología.

Para el presente estudio se usó el método de regresión lineal, analizando 2 variables de precipitación y altitud, de los cuales se aproximara la precipitación por altitud.

En base a los datos de las 3 estaciones meteorológicas se regionaliza la siguiente ecuación cuadrática.

$$P^2 = 504.37 * H - 1166512.051$$

Donde:

P= precipitación total anual (mm)

H= altitud (m.s.n.m.)

En el análisis de datos se obtuvo un coeficiente de correlación de $r = 0.95$ que indica una ALTA correlación y dependencia con la precipitación.

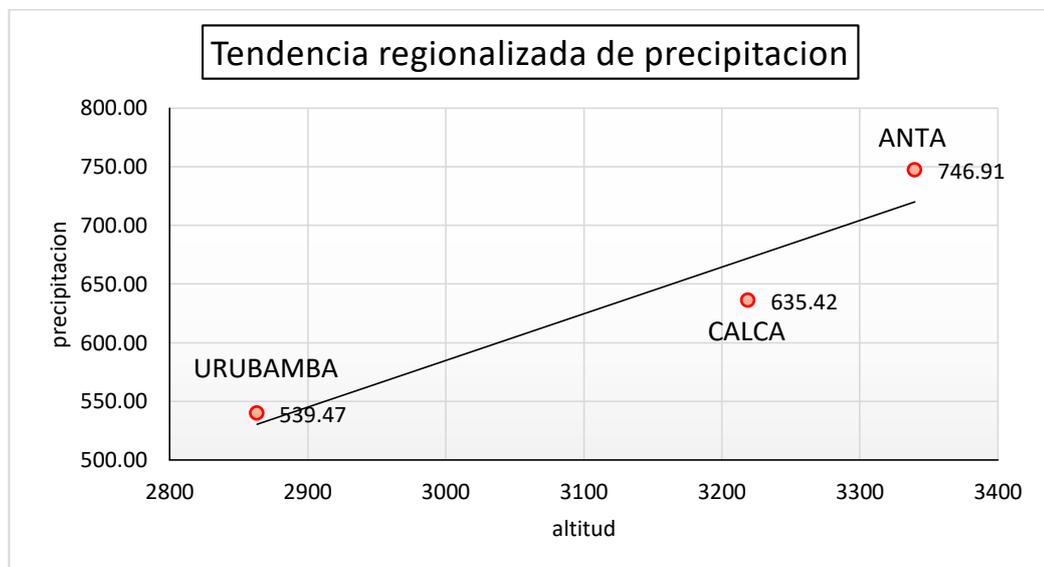


Ilustración 4.1 Tendencia de precipitación de las 3 estaciones base Fuente: Elaboración propia.

Para la quebrada de Pucamarca se obtuvo una precipitación media anual de 880.8 mm.

Tabla 4.2 Regionalización de la precipitación y la altitud de las 3 estaciones

REGIONALIZACION DE LA PRECIPITACION VS ALTITUD						
NOMBRE DE ESTACION	A ALTITUD MEDIA msnm	B PRECIPITAC. TOTAL ANUAL mm/año		ECUACION DE REGRESION $P^2 = C_i + C_d * H$		
			A ²	B ²	A* B ²	A ⁴
URUBAMBA	2863	539.47	8196769	291027.881	833212823	6.7187E+13
CALCA	3219	635.42	10361961	403758.576	1299698857	1.0737E+14
ANTA	3340	746.91	11155600	557874.548	1863300991	1.24447E+14
SUMA	9422	1921.8	29714330	1252661.01	3996212671	2.99005E+14
n	3	3	3	3	3	3
PROMEDIO	3140.666667	640.6	9904776.6	417553.668	1332070890	9.96682E+13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3 Formulas y valores de regresión

FORMULAS DE REGRESION				VALORES DE PARAMETROS DE REGRESION	
m=SUM A	9422			COEF. INDEPENDIENTE $C_i =$	- 1166512.05
n=SUM B	1921.8	$s = o - (m^2)/n$	122968.667	COEF. DEPENDIENTE $C_d =$	504.37
o=SUM A ²	29714330	$t = q - (m * p)/n$	62022006.8	COEF. DE CORRELACION $r =$	0.95
p=SUM B ²	1252661.01	$u = r - (p^2)/n$	2.9848E+14		
q=SUM A* B ²	3996212671	$v = C_d = q/s$	504.372443		
r=SUM A ⁴	2.99E+14	$w = C_i = (p - v * m)/n$	1166512.05		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4 Regionalización para cotas del área de estudio.

REGIONALIZACION ANUAL DE LA PRECIPITACION		
Media	3827.7	874.11
Cota	3690	833.44
Cota	3695	834.95
Cota	3715	840.97
Cota	3740	848.43
Cota	3765	855.83
Cota	3790	863.17
Cota	3815	870.44
Cota	3840	877.65
Cota	3865	884.81
Cota	3890	891.91
Cota	3915	898.95
Cota	3940	905.93

Cota	3965	912.87
Cota	3990	919.75
Cota	4015	926.58

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos valores de precipitación se procesaron los datos para obtener precipitaciones medias mensuales de la Zona de estudio mostrándose en el cuadro siguiente.

Tabla 4.5 Precipitación mensual de la zona de estudio

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL PARA LA QUEBRADA DE PUCAMARCA													
ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOT
CALCA	148.78	138.65	59.13	35.80	8.23	2.50	5.00	5.70	10.35	71.60	43.70	105.98	635.42
ANTA	162.90	158.95	78.30	38.30	6.50	2.18	2.33	11.13	16.10	72.50	62.58	134.83	746.60
URUBAMBA	110.23	104.24	61.78	22.28	4.48	0.37	3.28	4.85	3.30	50.03	53.15	121.48	539.47
PRECIPITACIÓN MENSUAL REGIONALIZADA													
COTA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOT
3827.7	188.768	179.498	92.847	42.012	8.390	1.896	4.944	9.385	11.594	86.597	75.723	172.353	874.01
3695	180.658	171.824	88.439	40.334	8.052	1.856	4.707	9.021	11.296	82.903	71.974	163.781	834.84
3715	181.838	172.938	89.165	40.554	8.095	1.854	4.744	9.070	11.307	83.431	72.619	165.250	840.86
3740	183.318	174.358	90.052	40.846	8.147	1.856	4.779	9.148	11.357	84.084	73.397	166.986	848.33
3765	184.976	175.903	90.794	41.222	8.233	1.876	4.836	9.210	11.444	84.872	73.981	168.379	855.73
3790	186.431	177.292	91.666	41.506	8.285	1.877	4.874	9.281	11.484	85.518	74.746	170.100	863.06
3815	187.932	178.710	92.488	41.814	8.348	1.884	4.919	9.347	11.535	86.203	75.448	171.707	870.33
3840	189.462	180.156	93.273	42.142	8.415	1.895	4.964	9.415	11.604	86.906	76.101	173.211	877.55
3865	190.995	181.609	94.042	42.478	8.483	1.909	5.007	9.488	11.687	87.610	76.735	174.659	884.70
3890	192.525	183.057	94.798	42.815	8.552	1.924	5.050	9.559	11.772	88.315	77.353	176.078	891.80
3915	194.025	184.480	95.560	43.141	8.618	1.936	5.091	9.631	11.850	89.003	77.984	177.519	898.84
3940	195.491	185.868	96.332	43.451	8.681	1.946	5.133	9.697	11.913	89.674	78.633	179.004	905.82
3965	197.040	187.324	97.032	43.806	8.758	1.965	5.180	9.764	12.009	90.401	79.183	180.294	912.76
3990	198.802	188.976	97.564	44.279	8.865	2.011	5.233	9.843	12.204	91.263	79.503	181.093	919.64
4015	200.321	190.413	98.258	44.629	8.938	2.030	5.275	9.915	12.307	91.970	80.051	182.357	926.46
Media mensual	190.272	180.922	93.533	42.358	8.462	1.916	4.985	9.456	11.698	87.297	76.265	173.601	880.77

Fuente: Elaboración propia

De la tabla se obtiene datos de precipitación media mensual y media anual para la Quebrada de Pucamarca.

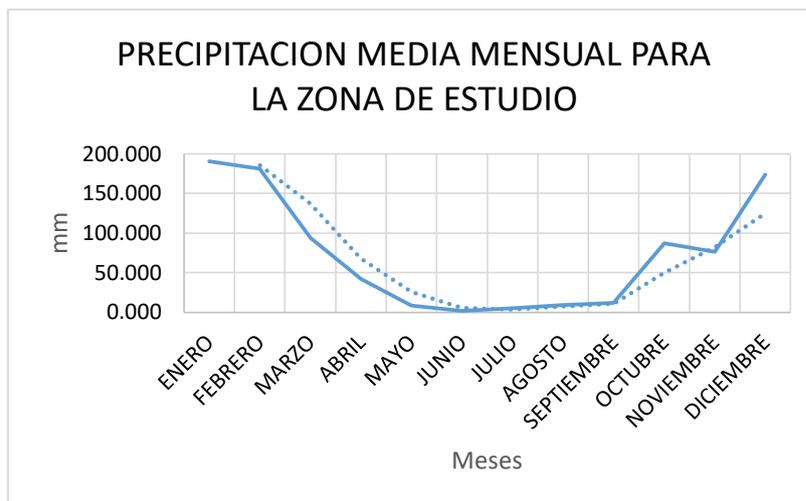


Ilustración 4.2 Comportamiento de precipitación mensual para la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Temperatura

Se regionalizo las estaciones meteorológicas de Anta, Calca y Urubamba como se muestra a continuación:

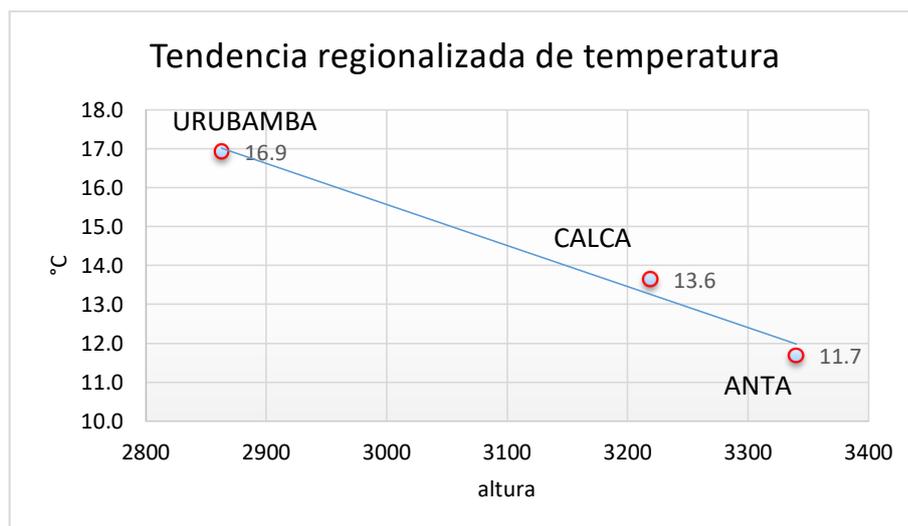


Ilustración 4.3 Tendencia de temperatura de las 3 estaciones base. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6 Temperaturas medias de las estaciones y parámetros de regionalización de temperatura

ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / TEMPERATUA MEDIA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
URUBAMBA	2863	17.58	17.11	17.75	16.89	14.94	26.94	12.93	14.32	15.68	16.82	16.45	15.63	16.9
CALCA	3219	15.19	15.21	14.95	14.39	11.87	11.42	11.18	12.30	12.99	15.78	14.50	13.88	13.6
ANTA	3340	13.73	13.75	13.76	11.53	8.95	9.95	10.28	10.39	11.22	11.80	12.31	12.63	11.7
Promedio	3140.7	15.5	15.4	15.5	14.3	11.9	16.1	11.5	12.3	13.3	14.8	14.4	14.0	14.1
Desv. Estándar	248.0	1.9	1.7	2.0	2.7	3.0	9.4	1.3	2.0	2.2	2.6	2.1	1.5	2.6
Coefic.	a	39.89	36.27	41.40	46.52	48.60	133.67	28.45	36.38	41.34	42.41	39.35	32.85	47.26
Coefic.	b	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.04	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Coefic.	r	-0.99	-0.98	-1.00	-0.95	-0.97	-0.99	-1.00	-0.97	-0.99	-0.82	-0.95	-0.98	-0.99

Fuente: SENAHMI y Elaboración propia

La ecuación de regionalización está dada por:

$$T = 47.2605 - 0.0106 * H$$

En base a esta ecuación se tiene las temperaturas medias por mes.

Tabla 4.7 Temperatura media mensual respecto a la altura

MES/TEMPERATURA MEDIA														
ESTACION	ALT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO S	SEPT	OCT	NOV	DIC	MED
		°C												
URUBAMB A	2863	17.57	17.11	17.75	16.88	14.94	13.60	12.53	14.31	15.67	16.81	16.44	15.63	15.77
CALCA	3219	15.19	15.21	14.95	14.39	11.73	10.81	10.29	12.12	12.97	15.78	14.50	13.88	13.48
ANTA	3340	13.73	13.75	13.76	11.53	8.95	9.95	10.28	10.39	11.22	11.80	12.31	12.63	11.69
Promedio	3140.6	15.498	15.35	15.48	14.268	11.87	11.45	11.03	12.27	13.28	14.798	14.419	14.047	13.650
Desv. Estándar	247.96	1.945	1.68	2.048	2.680	3.001	1.914	1.299	1.969	2.245	2.646	2.068	1.510	2.047
Coefic.	a	39.889	36.27	41.39	46.523	48.84	35.69	27.00	36.68	41.38	42.408	39.350	32.854	39.024
Coefic.	b	-0.008	-0.007	-0.008	-0.010	-0.012	-0.008	-0.005	-0.008	-0.009	-0.009	-0.008	-0.006	-0.008
Coefic.	r	-0.990	-0.980	-0.999	-0.950	-0.973	-1.000	-0.971	-0.979	-0.988	-0.824	-0.952	-0.983	-0.979
ALT. MEDIA	3827.7	10.163	10.781	9.818	7.213	3.785	6.151	7.546	6.935	7.142	8.758	8.966	9.933	8.099
COTA	3695	11.193	11.664	10.91	8.575	5.347	7.175	8.220	7.966	8.329	9.925	10.019	10.727	9.171
COTA	3715	11.038	11.531	10.74	8.370	5.112	7.020	8.118	7.811	8.150	9.749	9.860	10.608	9.010
COTA	3740	10.844	11.365	10.54	8.113	4.818	6.827	7.991	7.616	7.926	9.529	9.662	10.458	8.808
COTA	3765	10.649	11.198	10.33	7.857	4.523	6.634	7.864	7.422	7.703	9.309	9.463	10.308	8.606
COTA	3790	10.455	11.032	10.12	7.600	4.229	6.441	7.737	7.228	7.479	9.089	9.265	10.158	8.404
COTA	3815	10.261	10.865	9.923	7.343	3.935	6.249	7.610	7.034	7.255	8.870	9.067	10.009	8.202
COTA	3840	10.067	10.699	9.717	7.086	3.640	6.056	7.483	6.839	7.032	8.650	8.868	9.859	8.000
COTA	3865	9.873	10.532	9.510	6.830	3.346	5.863	7.356	6.645	6.808	8.430	8.670	9.709	7.798

COTA	3890	9.679	10.366	9.304	6.573	3.052	5.670	7.229	6.451	6.584	8.210	8.471	9.560	7.596
COTA	3915	9.485	10.199	9.098	6.316	2.758	5.477	7.102	6.256	6.361	7.990	8.273	9.410	7.394
COTA	3940	9.290	10.033	8.892	6.059	2.463	5.284	6.975	6.062	6.137	7.771	8.074	9.260	7.192
COTA	3965	9.096	9.866	8.685	5.803	2.169	5.091	6.848	5.868	5.913	7.551	7.876	9.110	6.990
COTA	3990	8.902	9.700	8.479	5.546	1.875	4.898	6.721	5.674	5.690	7.331	7.677	8.961	6.788
COTA	4015	8.708	9.533	8.273	5.289	1.581	4.705	6.594	5.479	5.466	7.111	7.479	8.811	6.586
media/mens		9.980	10.62	9.624	6.971	3.509	5.969	7.426	6.752	6.932	8.552	8.779	9.792	7.909

Fuente: Elaboración propia

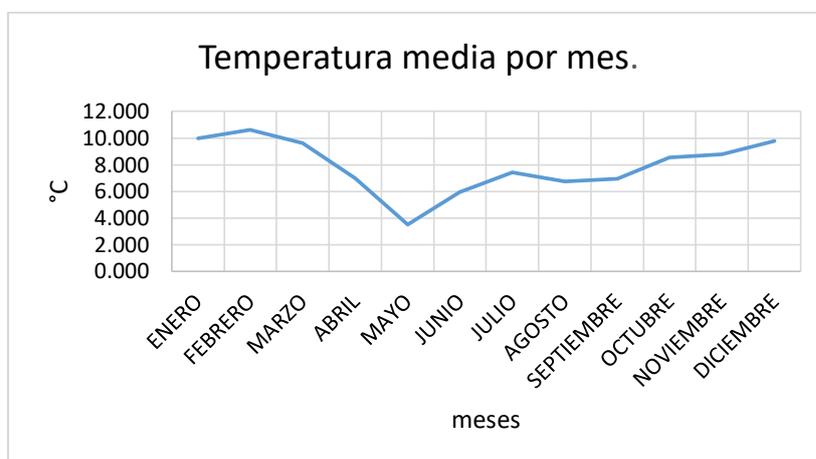


Ilustración 4.4 Comportamiento anual de la temperatura media mensual. Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Cálculo de evapotranspiración potencial (ETP)

Para el cálculo de la ETP se realizó mediante el método de Thornthwaite donde se obtuvo la siguiente tabla con valor medio mensual y anual del cálculo de la cantidad de agua que pueda evaporarse para la zona de estudio.

Tabla 4.8 Evapotranspiración potencial según Thornthwaite

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SET	OCT	NOV	DIC	ANU AL
COT A													
MEDI A	62.11	57.80	57.19	40.46	22.70	33.71	42.08	39.87	40.78	52.15	53.22	60.83	562.90
3695	63.56	58.39	58.91	43.49	27.51	35.13	41.65	41.30	42.98	54.27	54.73	60.96	582.87
3715	63.33	58.29	58.64	43.04	26.83	34.92	41.71	41.08	42.65	53.94	54.49	60.93	579.84
3740	63.05	58.17	58.30	42.47	25.96	34.65	41.79	40.82	42.23	53.54	54.20	60.90	576.07
3765	62.77	58.06	57.98	41.90	25.06	34.39	41.87	40.55	41.82	53.13	53.92	60.87	572.31
3790	62.50	57.95	57.66	41.33	24.14	34.12	41.95	40.28	41.41	52.74	53.64	60.85	568.55
3815	62.24	57.85	57.35	40.75	23.19	33.85	42.04	40.01	40.99	52.35	53.36	60.83	564.80

3840	61.98	57.76	57.04	40.18	22.21	33.57	42.13	39.73	40.57	51.96	53.09	60.83	561.05
3865	61.74	57.67	56.74	39.60	21.18	33.29	42.22	39.46	40.16	51.57	52.83	60.83	557.29
3890	61.50	57.60	56.45	39.01	20.11	33.01	42.32	39.19	39.73	51.19	52.56	60.84	553.50
3915	61.27	57.53	56.17	38.42	18.98	32.72	42.42	38.91	39.31	50.82	52.31	60.86	549.70
3940	61.05	57.47	55.89	37.82	17.78	32.42	42.53	38.63	38.88	50.44	52.06	60.88	545.85
3965	60.84	57.43	55.63	37.21	16.51	32.12	42.64	38.35	38.44	50.07	51.81	60.92	541.96
3990	60.64	57.40	55.36	36.58	15.14	31.81	42.76	38.06	37.99	49.70	51.57	60.97	537.99
4015	60.45	57.37	55.11	35.95	13.65	31.49	42.88	37.77	37.54	49.34	51.34	61.03	533.92
	61.92	57.78	56.95	39.84	21.30	33.39	42.21	39.58	40.34	51.79	52.99	60.89	558.98

Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Cálculo de evapotranspiración real (ETR)

También conocida como déficit de escorrentía o también la parte de la precipitación que no produce escorrentía, para la zona de estudio se procesó mediante el método de L. Turc para el cálculo de este valor.

4.1.5.1 Método de L. Turc.

Se basa en la fórmula:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

Donde:

ERT: Evapotranspiración real (mm por año)

P: precipitación media anual

L: $300 + 25T + 0.05T^3$

T: Temperatura media anual

Tabla 4.9 valores de Evapotranspiración potencial para cada cota de la zona de estudio.

Cota	P(mm)	Etp(mm)	T °C	ETR
Media	874.01	562.90	8.10	458.78
3695.00	834.84	582.87	9.17	477.13
3715.00	840.86	579.84	9.01	474.51
3740.00	848.33	576.07	8.81	471.16
3765.00	855.73	572.31	8.61	467.72
3790.00	863.06	568.55	8.40	464.21
3815.00	870.33	564.80	8.20	460.62

3840.00	877.55	561.05	8.00	456.97
3865.00	884.70	557.29	7.80	453.26
3890.00	891.80	553.50	7.60	449.50
3915.00	898.84	549.70	7.39	445.68
3940.00	905.82	545.85	7.19	433.67
3965.00	912.76	541.96	6.99	437.92
3990.00	919.64	537.99	6.79	433.98
4015.00	926.46	533.92	6.59	430.00
MEDIA ANUAL	880.77	559.24	7.91	454.34

Fuente: Elaboración propia

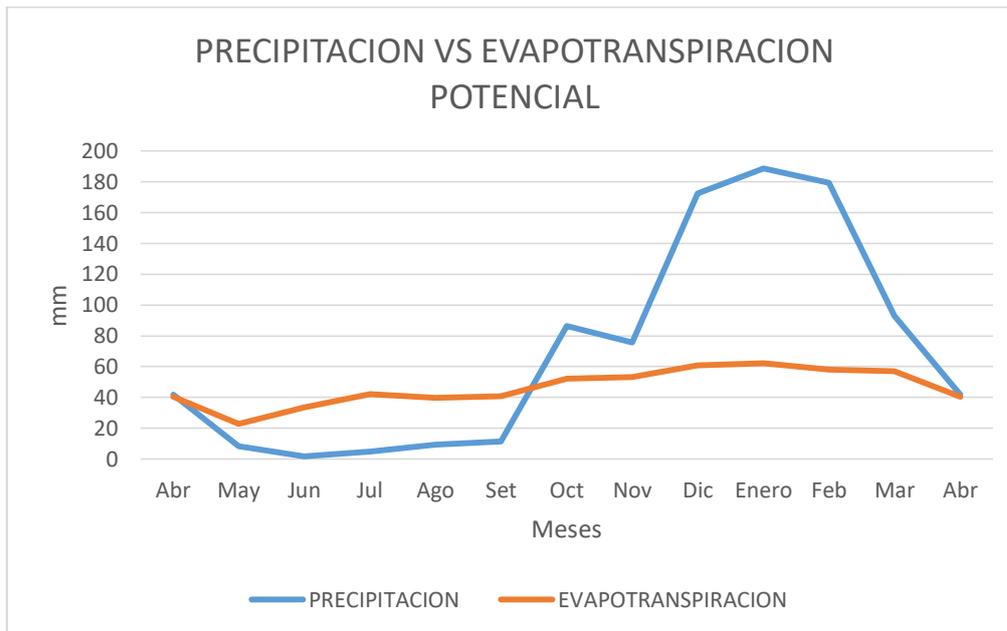


Ilustración 4.5 Grafica de precipitación vs Evapotranspiración. Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Cálculo del coeficiente de escurrimiento.

Se calcula en base a la evapotranspiración real calculada anteriormente, que significa la cantidad de agua en porcentaje que no va a escurrir,

$$C_e = \left(\frac{P - ETR}{P} \right)$$

Donde:

C_e: Coeficiente de escurrimiento.

P: Precipitación total anual.

ETR: Evapotranspiración real anual.

Tabla 4.10 coeficientes de escurrimientos y excedente hídrico para cada altitud.

ALTITUD	P(mm)	Etp(mm)	T °C	ETR	Ex. Hídrico	Ce (%)
3827.70	874.01	562.90	8.10	458.78	415.23	47.5087647
3695.00	834.84	582.87	9.17	477.13	357.71	42.8475108
3715.00	840.86	579.84	9.01	474.51	366.35	43.568279
3740.00	848.33	576.07	8.81	471.16	377.17	44.4602527
3765.00	855.73	572.31	8.61	467.72	388.01	45.3421935
3790.00	863.06	568.55	8.40	464.21	398.85	46.2138698
3815.00	870.33	564.80	8.20	460.62	409.71	47.075212
3840.00	877.55	561.05	8.00	456.97	420.57	47.9261006
3865.00	884.70	557.29	7.80	453.26	431.44	48.766461
3890.00	891.80	553.50	7.60	449.50	442.30	49.5962677
3915.00	898.84	549.70	7.39	445.68	453.15	50.415495
3940.00	905.82	545.85	7.19	433.67	464.00	51.2241562
3965.00	912.76	541.96	6.99	437.92	474.84	52.0222561
3990.00	919.64	537.99	6.79	433.98	485.66	52.8098003
4015.00	926.46	533.92	6.59	430.00	496.46	53.5869016
MEDIA ANUAL	880.77	559.24	7.91	454.34	425.43	48.2242347

Fuente: Elaboración propia

Para la zona de estudio el coeficiente de escurrimiento es del 48.22 % o 0.48 que significa que el 48% del excedente hídrico se va como escorrentía superficial hacia la laguna de Piuray.

CAPITULO V: CARACTERIZACION LITOLOGICA Y ESTRUCTURAL

5.1 CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA

Desde el punto de vista litológico la quebrada Pucamarca está emplazada sobre depósitos de la Formación Maras y Ayabacas y Puquín del Grupo Yuncaypata y las formaciones Quilque Chilca o Ausangate, y por los periódicos eventos geodinámicos que se producen desde la cabecera de la quebrada se van formando depósitos cuaternarios de diverso origen. Cabe mencionar que las formaciones Puquín, Quilque Chilca se encuentran en menor proporción respecto a las Formaciones Maras y Ayabacas de las cuales se hará la descripción a mayor énfasis ya que son los componentes del acuífero kárstico y objeto de la investigación.

5.1.1 Formación Maras

En la zona de estudio está compuesto principalmente por lutitas y arcillas con presencia de fragmentos de calizas en una disposición desordenada en contacto en partes con afloramientos de calizas, en mayor parte como aportes hacia depósitos coluviales, aluviales y en menor proporción eluviales.

Fotografía 5.1 Depósitos de Lutitas y arcillas cubiertos por vegetación en corte de carretera con composición de depósitos Maras



Fuente: Propia

Estos depósitos son de escaso interés hidrogeológico como se menciona en el estudio de GUAMAN POMA DE AYALA en el capítulo de Geología por su baja permeabilidad, pero en el sitio llamado Cocorocho donde existe predominancia de estos depósitos al realizar perfiles se encontró por debajo de estos niveles calizas plegadas y alteradas con un grado de fracturación y humedad alto; por ende a través de estos niveles existen circulación de agua que aportan a los ojos de agua.

Fotografía 5.2 Niveles de calizas de poco espesor plegadas y fracturadas con humedad debajo de depósitos limo arcillosos



Fuente: Propia

5.1.2 Calizas Ayabacas

Estas rocas se encuentran en su mayoría fracturadas y plegadas como se describe a continuación.

En el lugar de la cantera de Pucamarca se observa que las calizas presentan un alto grado de fracturamiento con dirección NE con una potencia aproximada de 30 metros y un buzamiento aproximado de SW.

Fotografía 5.3 Cantera de Pucamarca



Fuente: Propia

Hacia la parte superior izquierda de la quebrada con pendientes pronunciadas por encima de los manantes son lugares donde el grado de fracturamiento es de mayor intensidad, por ende es una zona donde la infiltración de las aguas de lluvia es mayor. Un indicador a esto es que presenta mayor vegetación a comparación de afloramientos en la parte derecha del arroyo de la quebrada.

Gran parte de las calizas fracturadas están cubiertas por una capa edáfica orgánica o también por la formación maras, este último es poco permeable, pero se observó en zonas de canteras de dolomías y calizas altamente fracturadas que es una cubierta máxima de 40 a 50 cm de espesor.

Fotografía 5.4 Cantera antigua cubierto por cubiertas edáficas de poco espesor.



Fuente: Elaboración propia

Hacia la quebrada de Pucamarca existen niveles de 2 a 3 metros de espesor de brechas angulosas de calizas con matriz carbonatada con un comportamiento mecánico consistente de aproximadamente R4 de 50 a 100 Mpa a prueba de picota de geólogo con clastos de diámetros máximos de 5 centímetros, estos niveles son de característica impermeable al contacto con el agua.

Fotografía 5.5 Niveles de brechas de fragmentos de calizas con matriz carbonatada



Fuente: Propia

Fotografía 5.6 Afloramientos de calizas con mayor grado de fracturamiento



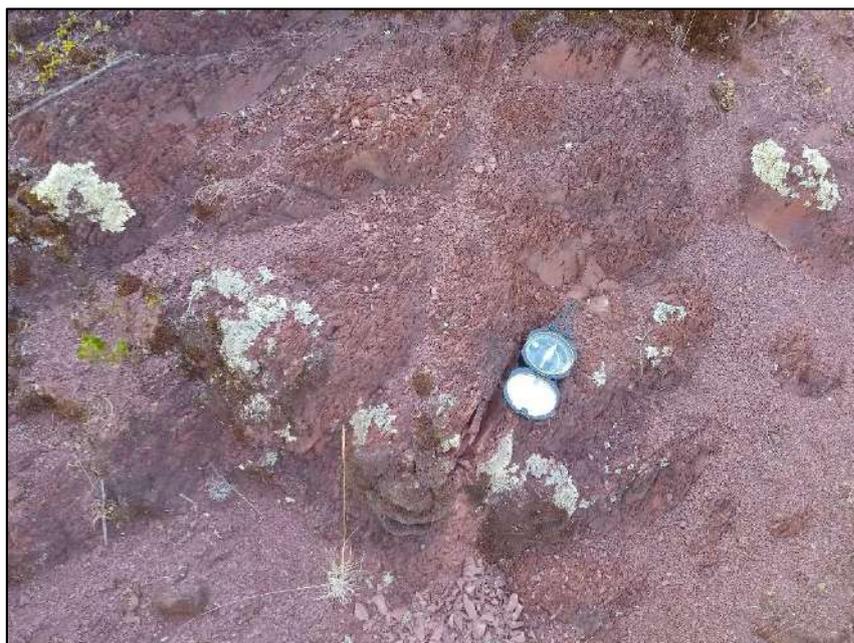
Fuente: Propia

5.1.3 Formación Puquín

Esta formación se manifiesta en menor proporción en el área de estudio, con afloramientos en los límites de la quebrada. Por su condición de acuitardo y composición de lutitas, actúa como sello; ya que esta se encuentra por debajo de las formaciones Maras y Ayabacas por un proceso de falla inversa.

Presenta un rumbo dominante de dirección SE y un buzamiento 40SW en dirección hacia la laguna de Piuray. Presenta un contacto hacia el techo con la Formación Quilque Chilca.

Fotografía 5.7 Lutitas de la Formación Puquín



Fuente: Propia

5.1.4 Quilque Chilca

Al igual que la Formación Puquín estos estratos están con dirección SE y buzamientos SW, descansan concordantes a estratos de Puquín, está compuesto en su mayoría de Lutitas rojas y moradas con un grado de fracturación y alteración alto, de esta manera en algunos lugares aparecen en proceso de meteorización a arcillas.

En la base en contacto con la Formación Puquín se observó microconglomerados subredondeados con clastos de calizas y lutitas de la Formación Puquín o Vilquechico.

Fotografía 5.8 Microconglomerados con clastos de lutita

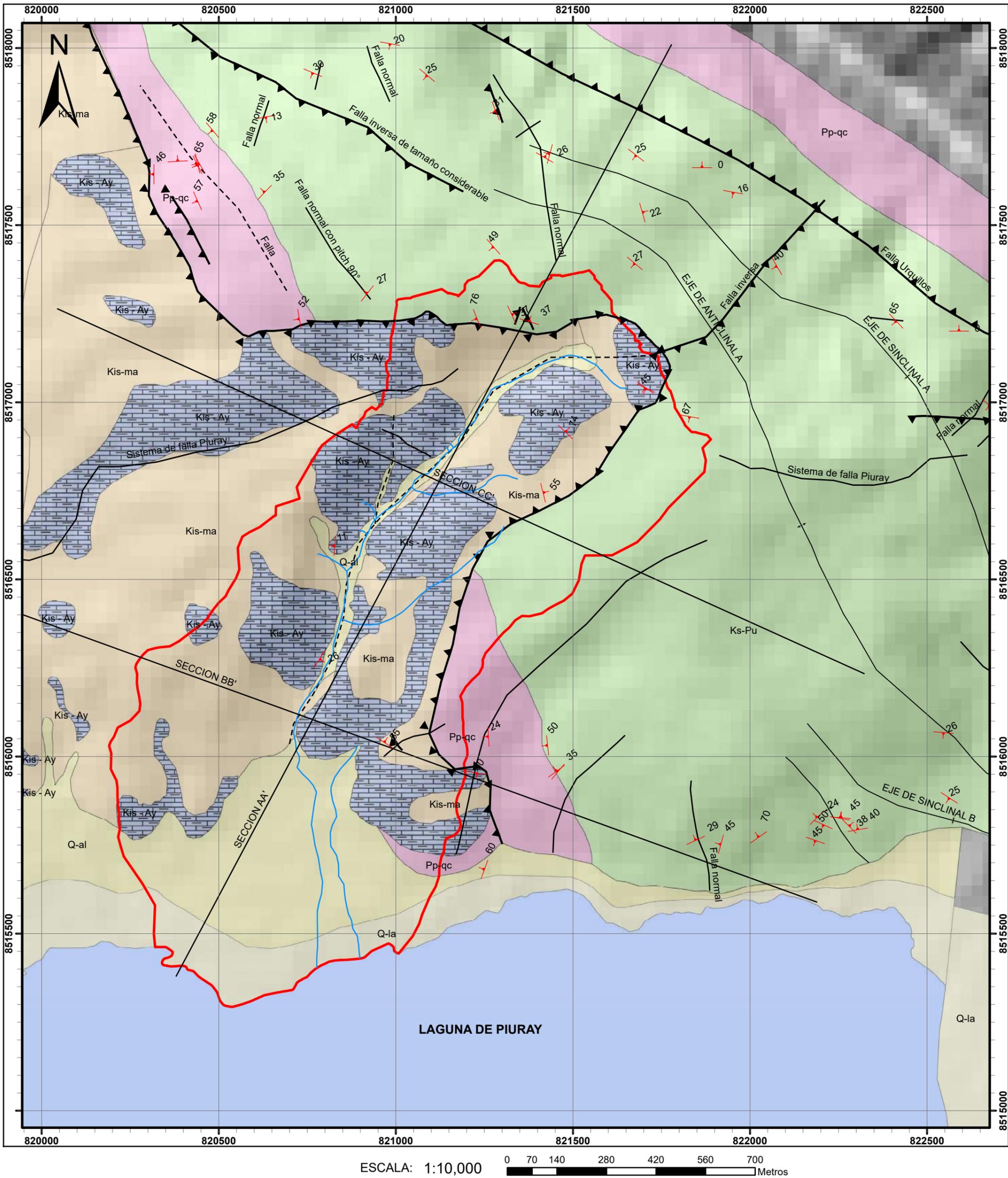


Fuente: Propia

Fotografía 5.9 Afloramientos Quilque Chilca conocido como Formación Ausangate en otros cuadrángulos.



Fuente: Propia



ESCALA: 1:10,000 0 70 140 280 420 560 700 Metros

LEYENDA

SIMB, NOMBRE

- Kis - Ay, FORMACION AYABACAS
- Kis-ma, FORMACION MARAS
- Ks-Pu, FORMACION PUQUIN
- Pp-qc, FORMACION QUILQUE CHILCA
- Q-al, DEPOSITOS ALUVIALES
- Q-la, DEPOSITOS LACUSTRES

SIMBOLOGIA

- | | |
|--|---------------------|
| | PTOS ESTRATOS 3 |
| | FALLOS CAMPO |
| | NOMBRE |
| | FALLA INFERIDA |
| | FALLA INVERSA |
| | FALLA NORMAL |
| | PLIEGUES ANTICLINAL |
| | PLIEGUES SINCLINAL |
| | DRENAJE |
| | SECCIONES |



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



PLANO: GEOLOGICO LOCAL		
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"		
DEPARTAMENTO: CUSCO	DATUM: 19 S WGS 84	LAMINA:
PROVINCIA: URUBAMBA	ELABORADO: Bch. Carlos Wilam Huanan Sucso Bch. Yusef Gavino Valenzuela Valenzuela	P-08
DISTRITO: CHINCHERO	Asesor: Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana	
COMUNIDAD: CCAMU - PUCAMARCA	FECHA: Enero 2020	ESCALA: 1:10000

5.2 CARACTERIZACION ESTRUCTURAL

5.2.1 Análisis estructural de la Formación Puquín.

En la formación Puquín se hizo el inventario de fallas y fracturas para ver el comportamiento direccional de estas realizando un primer levantamiento de datos hacia el noroeste de la zona de estudio y una segunda estación hacia el Este como se muestra a continuación.

Tabla 5.1 Fallas normales Puquín

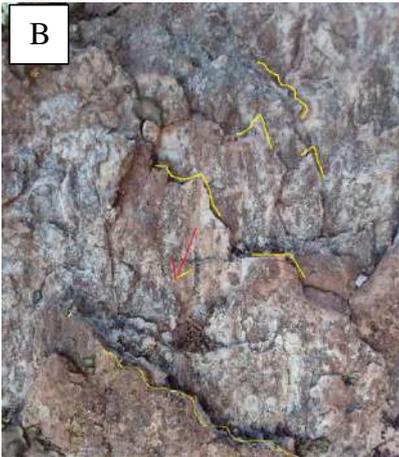
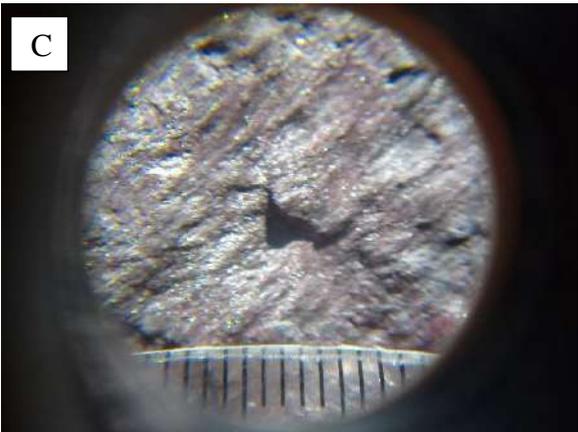
	
	
<p>Fotografías: A: Falla normal entre el miembro M1 piso y M2 techo zona NE. B: indicadores cinemáticos de falla normal. C: Indicador cinemático de falla normal dextral zona Noroeste dirección E -W. D: Espejo de falla normal zona Norte. Fuente: Elaboración propia.</p>	

Tabla 5.2 Datos de dirección de fallas en la formación Puquín

	ESTE	NORTE	DIP	DIP DIR
EST. PUQUIN FALLAS	820670	8517821	10	210
	820670	8517821	80	342
	820670	8517821	32	215
	820670	8517821	50	180
	820670	8517821	58	21

Fuente: Elaboración propia

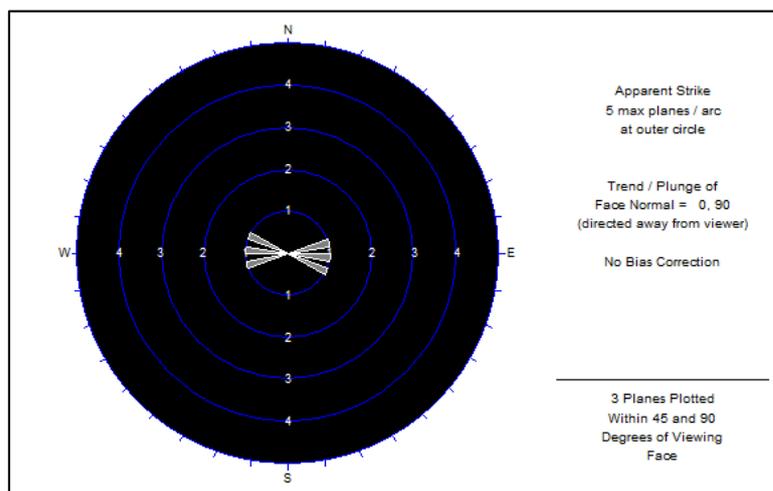


Ilustración 5.1 Roseta de fallas Puquín. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5.3 Datos de dirección de fracturas Puquín hacia el Este de la zona de estudio

	ESTE	NORTE	DIP	DIP DIR
EST. PUQUIN FRACTURAS	821913	8515769	42	202
	821913	8515769	54	154
	821913	8515769	70	250
	821913	8515769	50	155

Fuente: Elaboración Propia

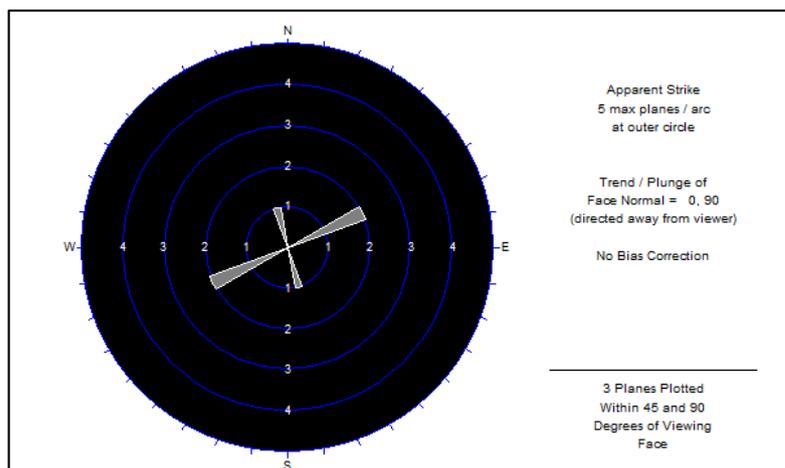


Ilustración 5.2 Roseta de fracturas Puquín, zona Este. Fuente: Elaboración propia

De las dos estaciones Puquín se observa que el sistema de fallas mapeadas en la formación Puquín presentan una dirección Este a Oeste, presentan la misma correlación en dirección del sistema de anticlinales y sinclinales mapeadas en la zona.

Mientras que en la zona Este se mapeo 2 sistemas de fracturas con una dominante en dirección SW a NE.

5.2.2 Análisis estructural de calizas

En estos afloramientos no presentan espejos de falla recientes, se observa fracturas con comportamiento de fallas normales rellenas de material cuaternario, vegetación y depósitos Maras en direcciones SE a NW en el cuerpo AK1 de calizas cartografiadas correspondientes a fallas normales sincinemáticas según estudios de (Carlotto, 1992).

Para las calizas se realizó la caracterización en diferentes afloramientos de todo los sistemas de fracturas en función a su dip y dip direction y de esta manera poder conocer las direcciones.

Tabla 5.4 Caracterización de direcciones de fracturas en la zona de la Cantera de Pucamarca.

	ESTE	NORTE	DIP	DIP DIR
EST. 1	820820	8516011	87	10
	820820	8516011	83	40
	820820	8516011	66	17

	820820	8516011	87	100.8
	820820	8516011	40	137
	820820	8516011	56	4
	820820	8516011	88	313
	820820	8516011	35	240

Fuente: Elaboración propia

En esta estación la dirección dominantes de las fracturas de las calizas es SE a NO.

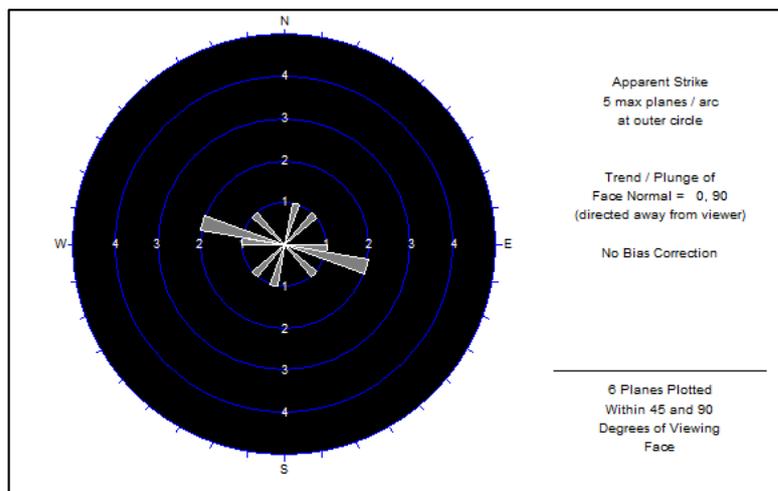


Ilustración 5.3 diagrama de orientaciones SE NW de fracturas. Fuente: Elaboración propia

Caracterización de fracturas de la zona superior izquierda de la quebrada de Pucamarca, al lado Oeste de las captaciones de Jarahuaraca

Tabla 5.5 Datos de dirección de fracturas estación 2

	ESTE	NORTE	DIP	DIP DIR
ESTACION 2	820841	8516665	D:60	DD:312
	820841	8516665	D:84	DD:135
	820841	8516665	D:90	DD:285
	820841	8516665	D:90	DD:286
	820841	8516665	D:90	DD:280
	820841	8516665	D:82	DD:174
	820841	8516665	D:68	DD:334
	820841	8516665	D:73	DD:70
	820841	8516665	D:16	DD:217
	820841	8516665	D:78	DD:106

Fuente: Elaboración propia

En la estación 2 la dirección dominante de las fracturas de las calizas es SW a NE.

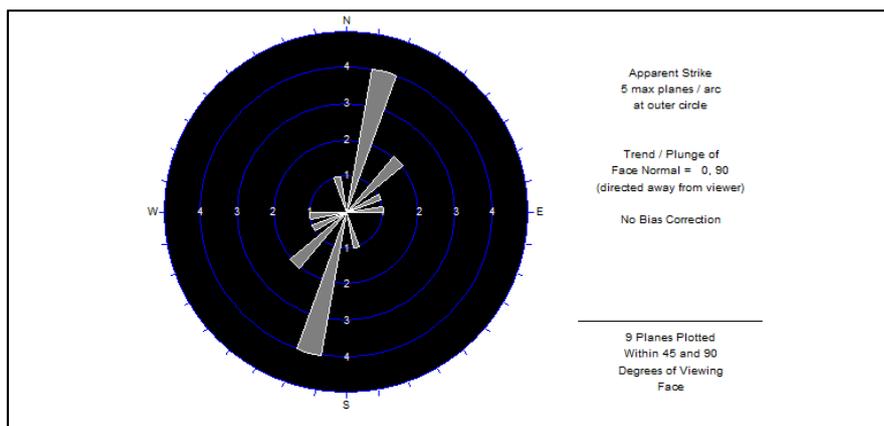


Ilustración 5.4 Diagrama de orientaciones SW NE de fracturas. Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones 3,4 y 5 se ubican en hacia la parte superior derecha de las captaciones de Jarahuaraca por encima de los afloramientos con pendientes altamente empinadas.

Tabla 5.6 Datos de dirección de fracturas de calizas de la estación 3

ESTACION 3	ESTE	NORTE	DIP	DIP DIR
	821043	8516881	60	220
	821043	8516881	75	240
	821043	8516881	90	300
	821043	8516881	51	195
	821043	8516881	59	52
	821043	8516881	61	76
	821043	8516881	70	76
	821043	8516881	78	335
	821043	8516881	72	280
821043	8516881	47	58	

Fuente: Elaboración propia

En esta estación la dirección dominante es SE a NW con fracturas en segundo orden en todas las direcciones.

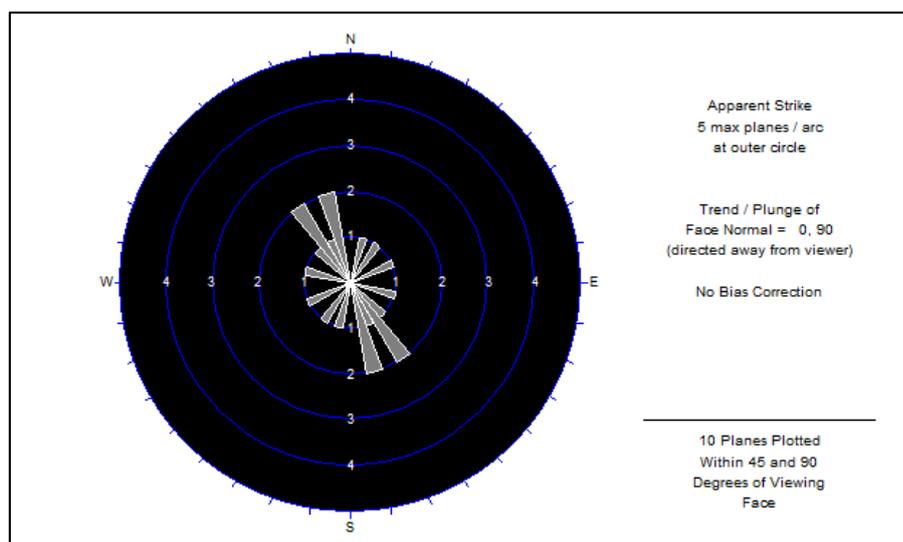


Ilustración 5.5 Roseta de fracturas de la estación 3. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.7 Datos de dirección de calizas de la estación 4

	ESTE	NORTE	DIP	DIP DIR
ESTACION 4	821062	8516928	48	248
	821062	8516928	52	260
	821062	8516928	90	300
	821062	8516928	68	215
	821062	8516928	56	250
	821062	8516928	58	195

Fuente: Elaboración propia

Para la estación 4 las direcciones de las fracturas se manifiestan en todo los sentidos, donde el fracturamiento es por igual en toda dirección.

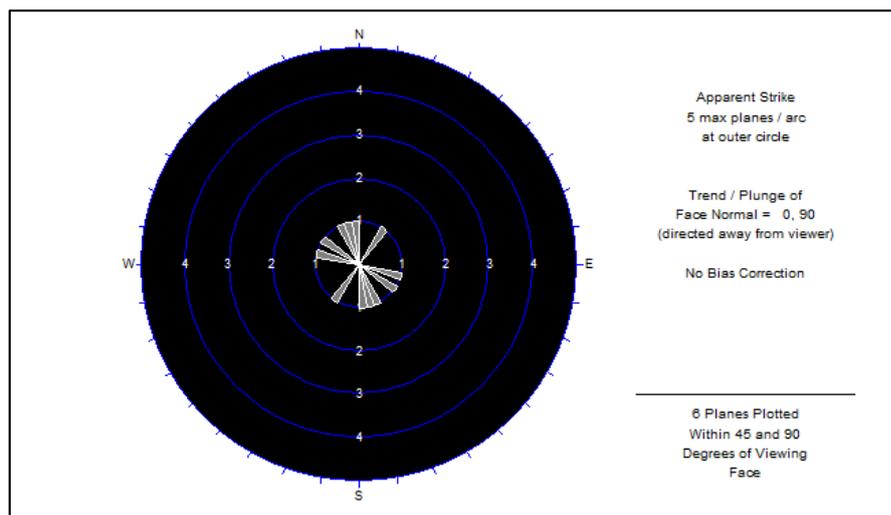


Ilustración 5.6 Roseta de fracturas de la estación 4. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.8 Datos de dirección de calizas de la estación 5

	ESTE	NORTE	DIP	DIP DIR
ESTACION 5	821112	8517000	62	90
	821112	8517000	52	65
	821112	8517000	90	315
	821112	8517000	65	140

Fuente: Elaboración propia

En la estación 5 las fracturas presentan 3 direcciones resaltantes con una ligera dominante de SO a NE.

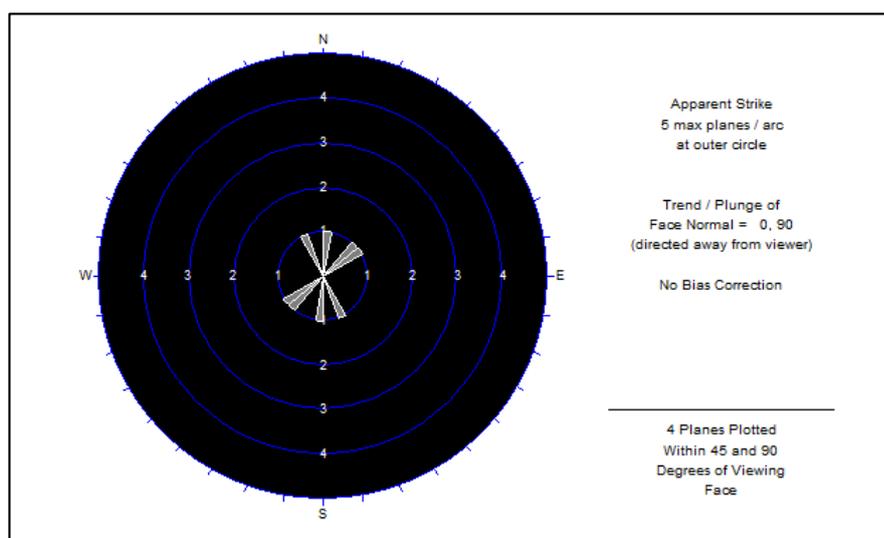


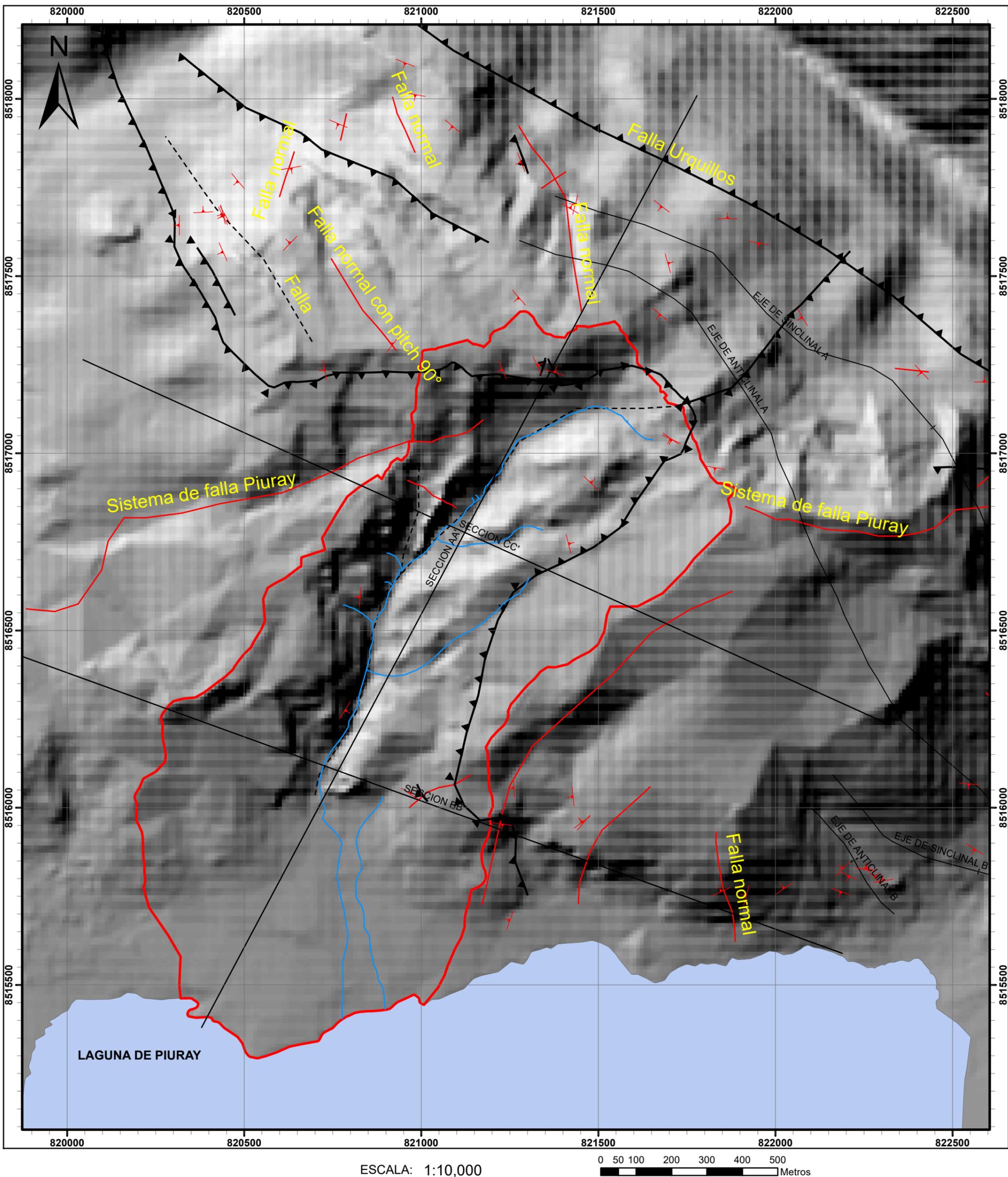
Ilustración 5.7 Roseta de fracturas de la estación 5. Fuente: Elaboración propia.

Para todas las estaciones levantadas en calizas se observa distintas direcciones sin formar alguna secuencia o patrón; esto debido a la disposición heterogénea deformada y plegada de los afloramientos de la Formación Ayabacas y la Formación Maras, debido a ello la circulación de aguas a través de las fracturas y en dirección de estas adquiriendo una circulación desordenada a través de los conductos.

Ilustración 5.8 Afloramientos de calizas fracturadas en la parte alta de la quebrada en el cuerpo AK1.



Fuente: Propia

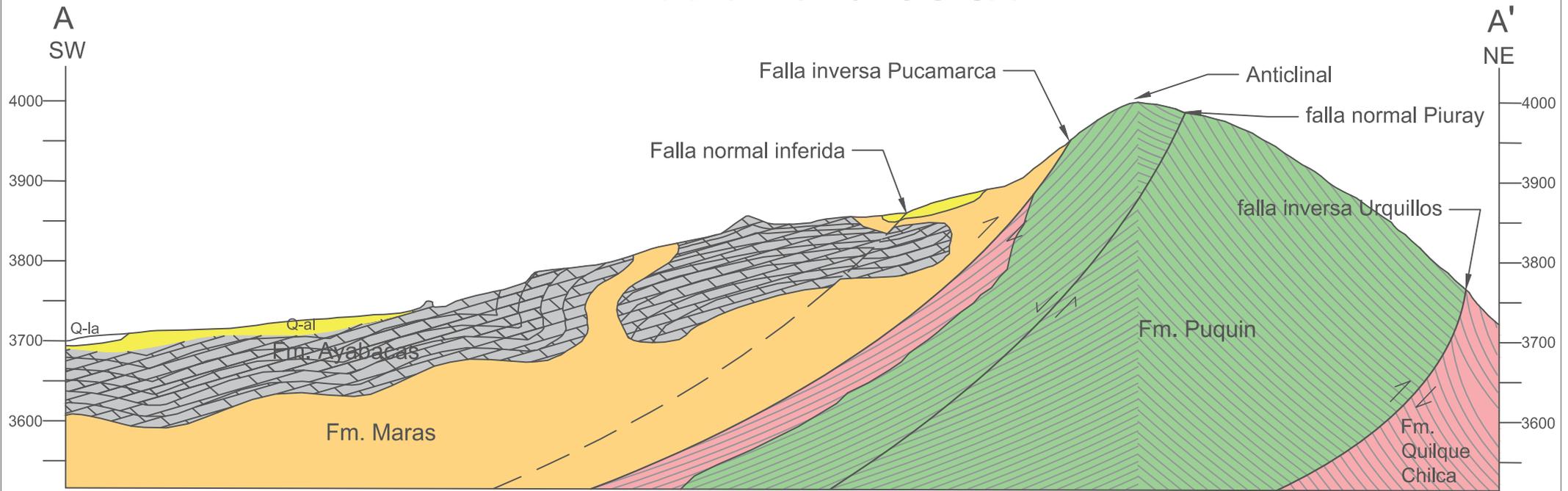


SIMBOLOGIA

	PTOS ESTRATOS_3	PLIEGUES	
	SECCIONES	DESCRIPCIO	
	FALLAS_CAMPO		ANTICLINAL
	NOMBRE		SINCLINAL
	FALLA INFERIDA		DRENAJE
	FALLA INVERSA		
	FALLA NORMAL		

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		
PLANO:	ESTRUCTURAL	
TESIS:	"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"	
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM: 19 S WGS 84
PROVINCIA:	URUBAMBA	ELABORADO: Bch. Carlos William Huanan Succo Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela
DISTRITO:	CHINCHERO	Asesor: Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana
COMUNIDAD:	CCAMU - PUCAMARCA	FECHA: Enero 2020
		ESCALA: 1:7000
		P-09

SECCIÓN GEOLÓGICA



LEYENDA

— Fallas geológicas

LITOLÓGÍA

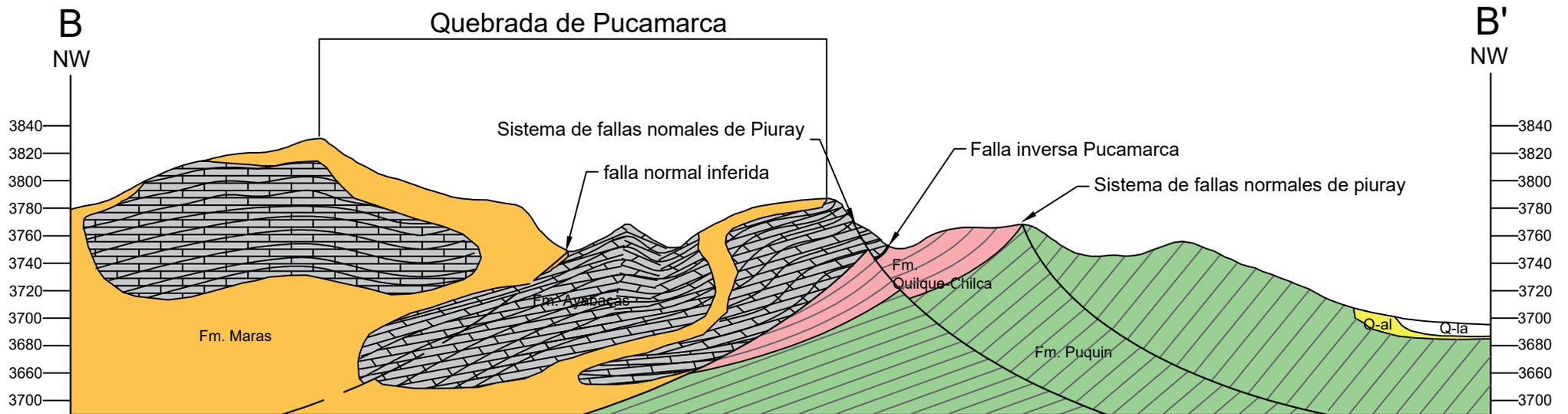
-  Arcillas, limos, arenas
-  Grava, arena, limo y arcillas con clastos subangulosos
-  Areniscas, lutitas y microconglomerado
-  Areniscas y lutitas
-  Calizas masivas grises
-  Arcillas, limoarcillitas, lutitas y sales

Ev 1/2 000

Eh 1/10 000

Fuente: Elaboración Propia

SECCIÓN GEOLÓGICA



LEYENDA

— falla geológica

Litología

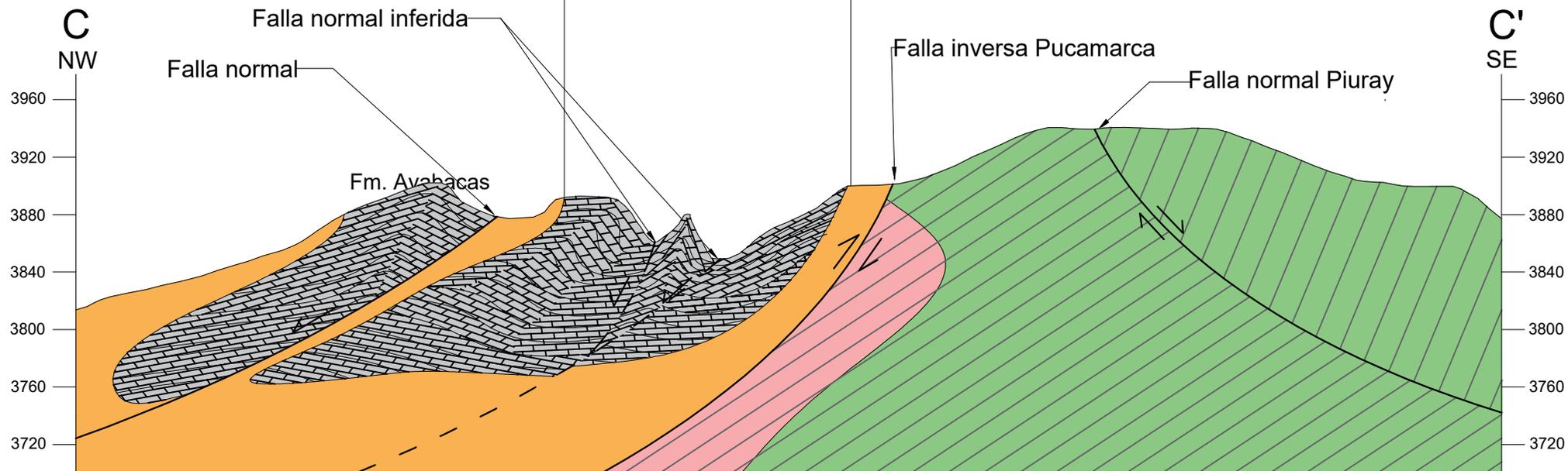
- Arcillas, limos, arenas
- Grava, arena, limo y arcillas con clastos subangulosos
- Areniscas, lutitas y microconglomerado
- Areniscas y lutitas
- Calizas masivas grises
- Arcillas, limoarcillitas, lutitas y sales

Fuente: Elaboración Propia

Ev 1/2 000
Eh 1/10 000

SECCIÓN GEOLÓGICA

Quebrada de Pucamarca



LEYENDA

- Falla geológica
- Litología
 - Areniscas, lutitas y microconglomerado
 - Areniscas y lutitas
 - Calizas masivas grises
 - Arcillas, limoarcillitas, lutitas y sales

Fuente: Elaboración Propia

Ev 1/2 000

Eh 1/10 000

CAPITULO VI: GEOFISICA

6.1 ASPECTOS GENERALES

Dentro de la zona de estudio se han realizado estudios geofísicos por el método de Tomografía Eléctrica, se realizaron 6 secciones de 300 metros de longitud durante los meses de Noviembre del año 2019 con el objeto de definir con mayor precisión la estructura y el comportamiento respecto a las circulaciones de aguas subterráneas del acuífero kárstico.

Como se había descrito en el capítulo del marco teórico respecto a la geofísica, se realizó el sondeo por los métodos Wenner y Wenner Schlumberger los cuales se describen en este acápite.

6.2 UBICACIÓN DE LAS SECCIONES DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

Las secciones están en un orden desde la parte superior de la quebrada con la sección 1 y termina en la parte inferior con la sección 4, donde están los depósitos aluviales como se muestra en la ilustración:

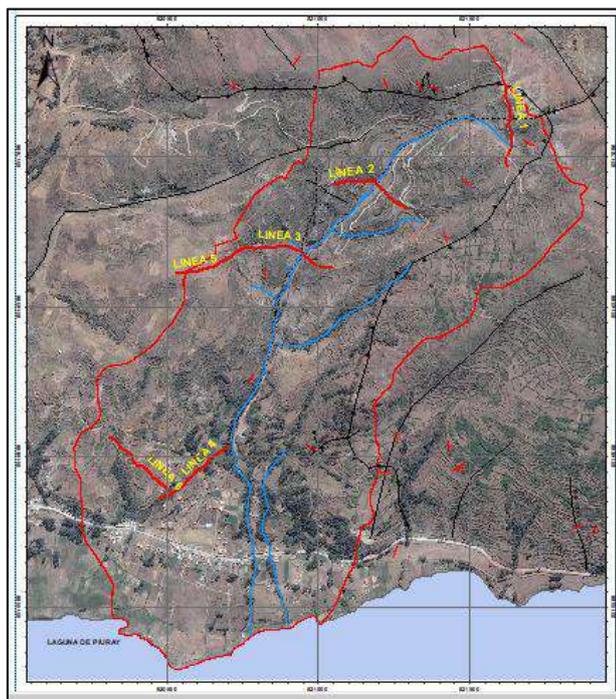


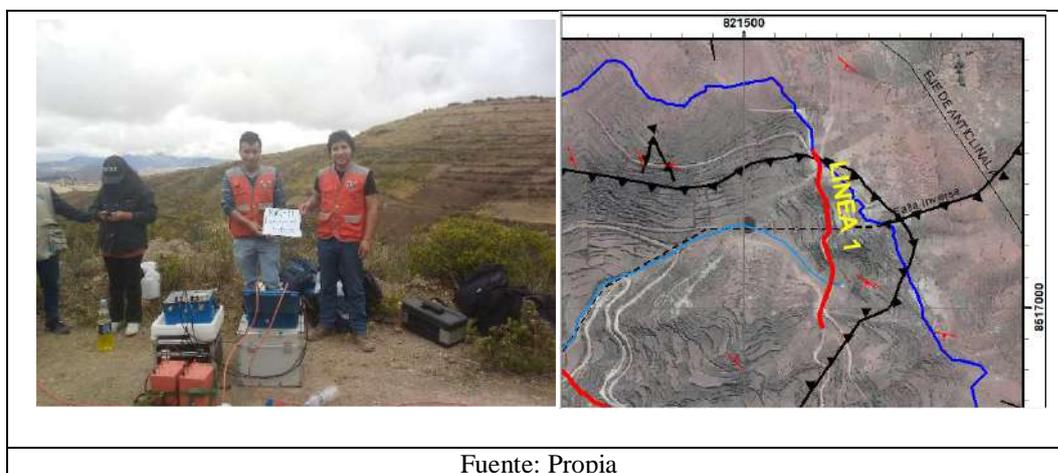
Ilustración 6.1 Ubicación de las líneas de tomografía eléctrica. Fuente: Elaboración propia

6.3 ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS SECCIONES GEOELECTRICAS

6.3.1 Sección de tomografía eléctrica 1

Esta sección tiene una dirección N-S, que se encuentra en la parte alta de la quebrada.

Fotografía 6.1 Ubicación e instalación de la ERT – 1



A. Método WENNER

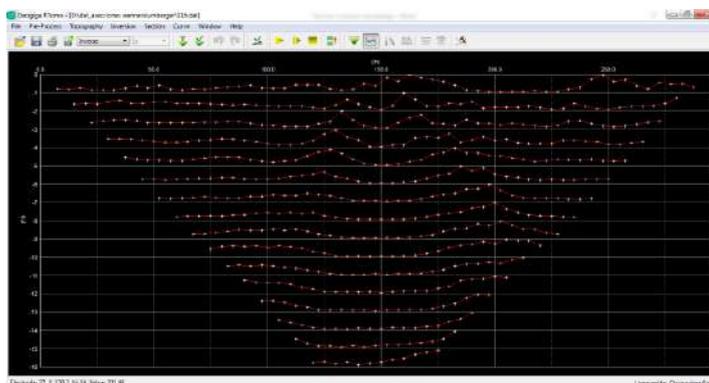


Ilustración 6.2 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO”.

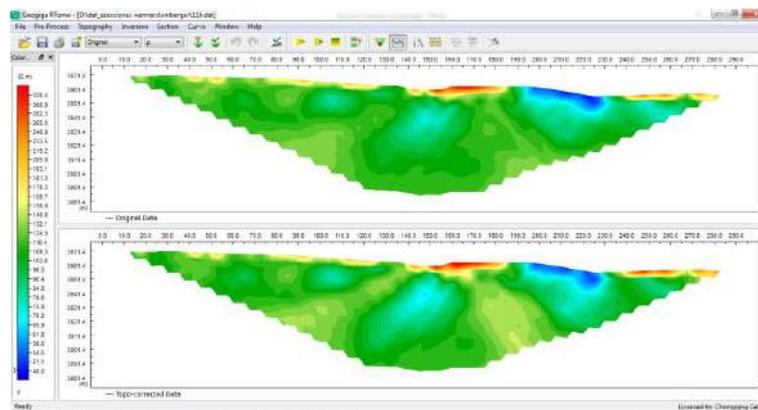


Ilustración 6.3 Proceso de corrección de topografía.

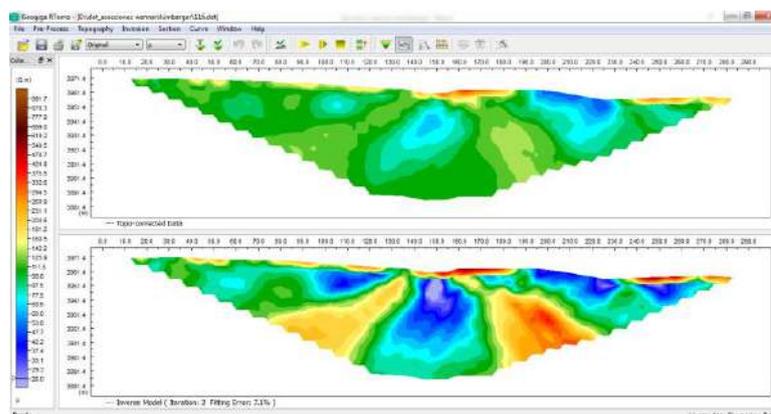


Ilustración 6.4 Proceso de inversión con un total de 2 iteraciones al 2.1% de error.

RESULTADO:

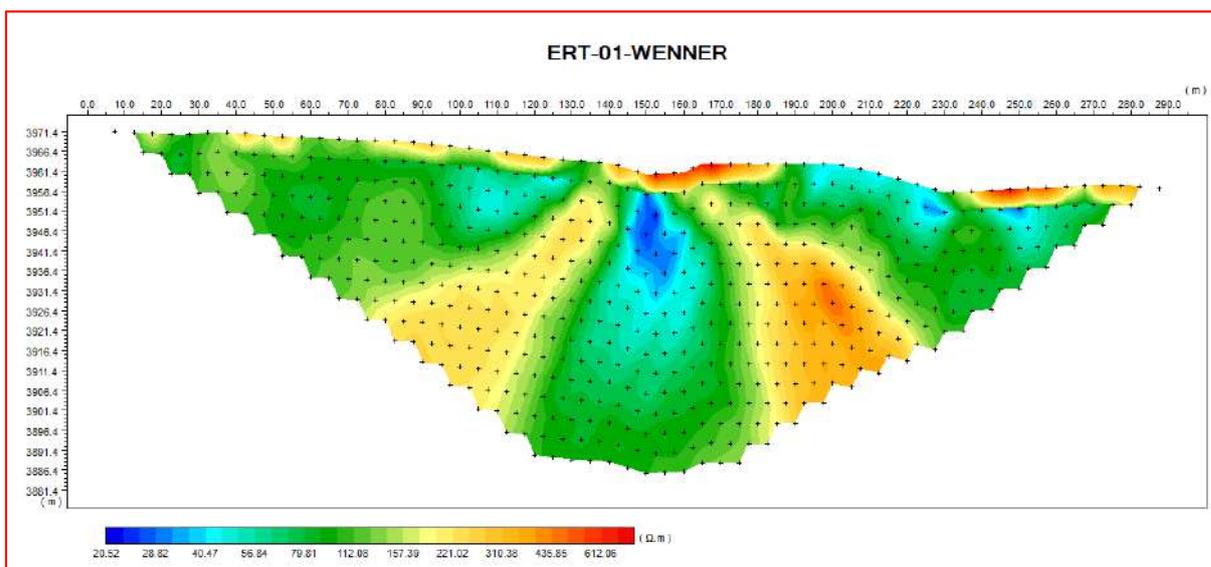


Ilustración 6.5 ERT 1 método Wenner

INTERPRETACION:

En esta sección por el método Wenner se observa resistividades desde los 20 hasta 600 Ω .m, en donde se observa una zona de bajas resistividades en la parte central que esta entre 20 a 30 Ω .m con una variación horizontal desde la progresiva 145 a 160 metros y una variación en profundidad a partir de los 10 metros hasta los 30 metros; en esta dirección las resistividades van aumentando progresivamente pero siempre se manifiesta hasta 100 Ω .m lo que indicaría una zona de debilidad o fracturamiento por el cual existe circulación de aguas subterráneas.

B. Método WENNER SLUMBERGER

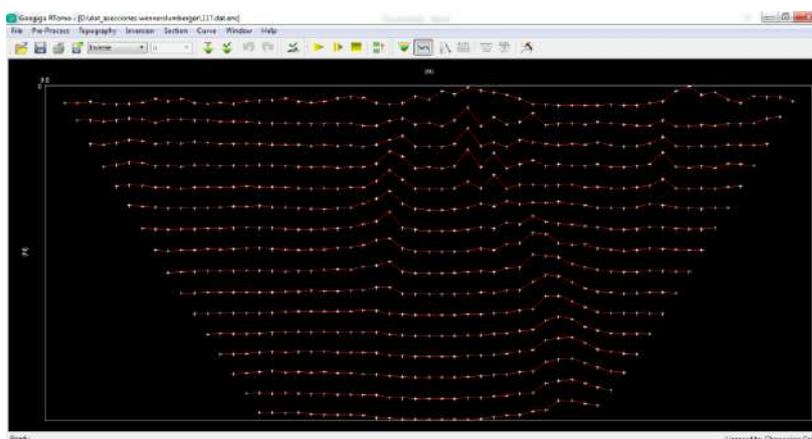


Ilustración 6.6 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos

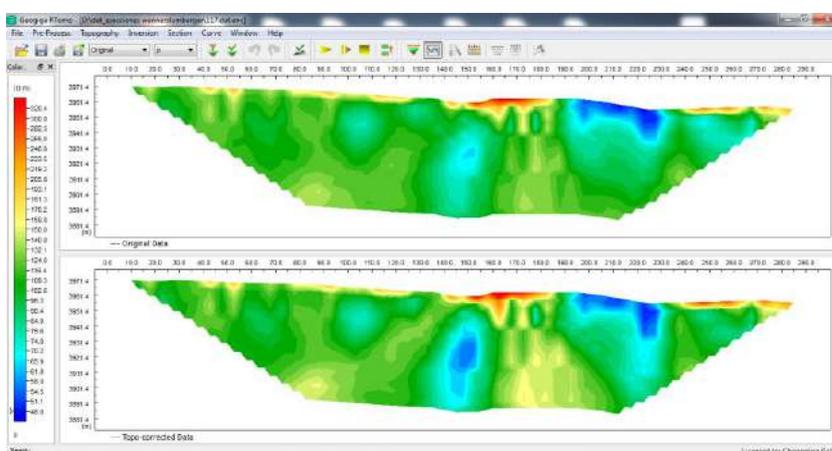


Ilustración 6.7 Proceso de corrección de topografía

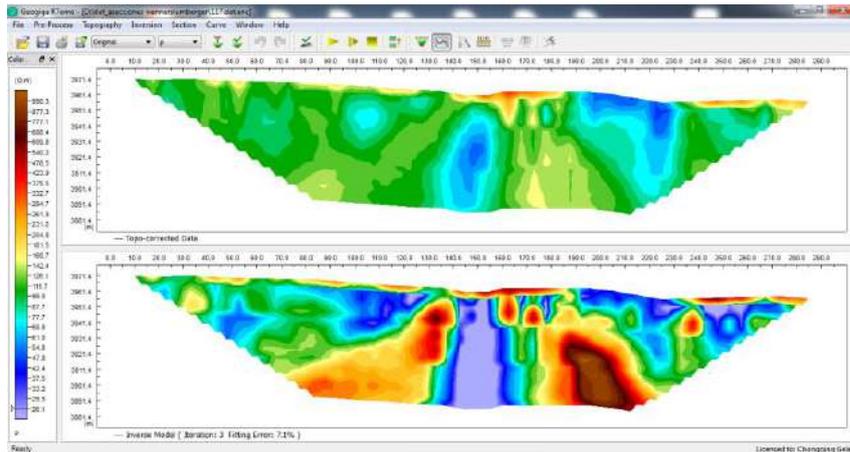


Ilustración 6.8 Proceso de inversión con un total de 7 iteraciones al 7.1% de error

RESULTADO:

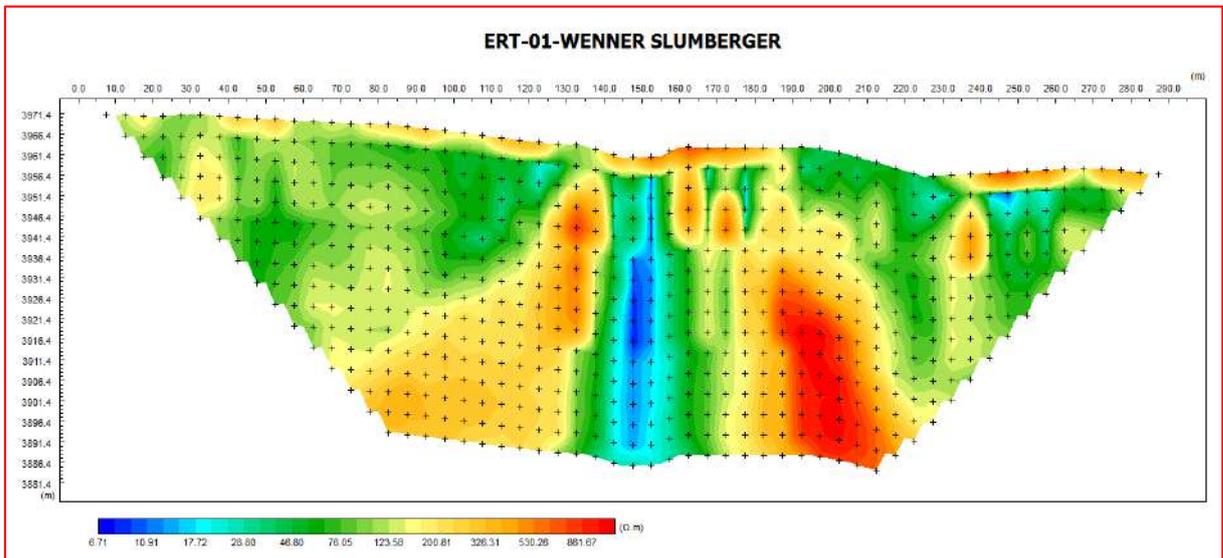


Ilustración 6.9 ERT 1 método Wenner Schlumberger

INTERPRETACION:

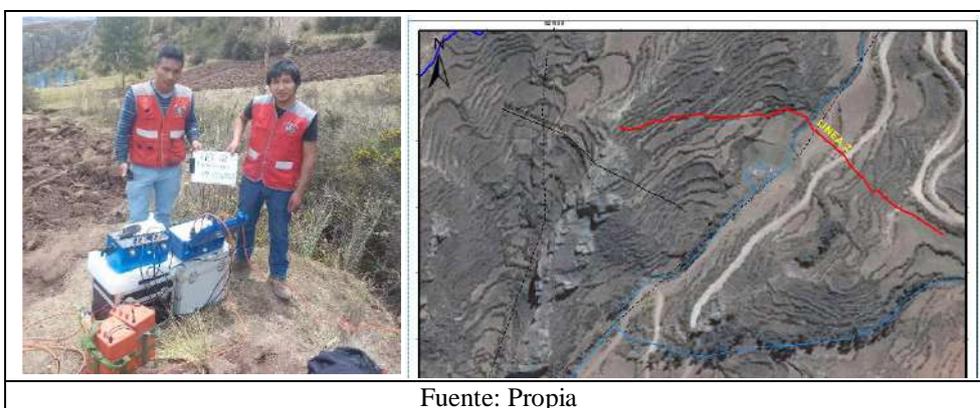
Al igual que en el método Wenner entre las progresivas 145 a 155 metros se observa una alineación de resistividades bajas, con dirección hacia la profundidad con resistividades de 6 a 20 Ω .m, que está asociado a una zona de debilidad y de fracturación con circulación de agua

subterránea. Las resistividades altas de 150 a más de 800 Ω .m pertenecen a rocas calizas con menor grado de fracturamiento que se encuentran en los flancos de la zona débil.

6.3.2 Sección de tomografía eléctrica 2

La sección presenta una dirección Oeste-Este; esta sección se realizó metros arriba de las captaciones 3 y 4; de la parte central hacia el lado izquierdo o entre las progresivas 0 a 150 m se encuentran por encima de afloramientos de roca caliza fracturada; mientras que el lado derecho del tendido o a partir de las progresivas 150 a 300 m se encuentra sobre depósitos arcillosos y lutíticos de la formación Maras.

Fotografía 6.2 Ubicación e instalación de la ERT – 2



A. Método WENNER

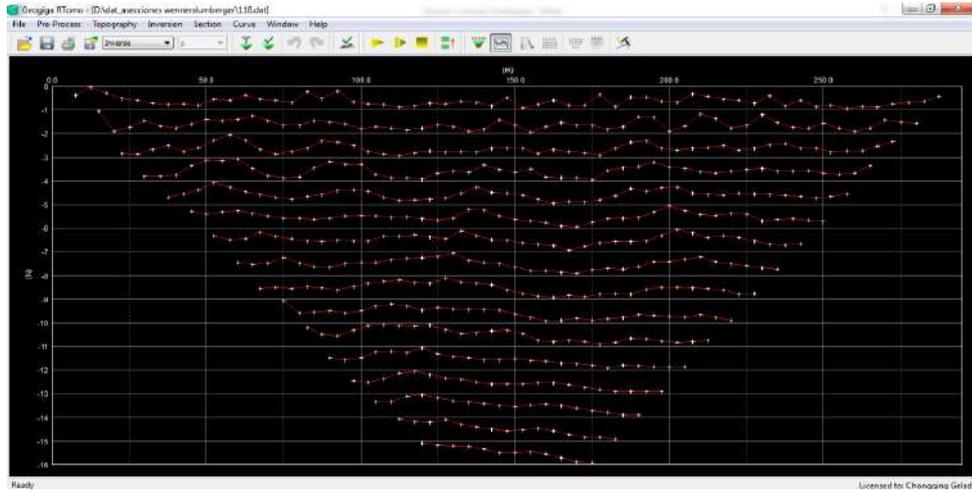


Ilustración 6.10 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.

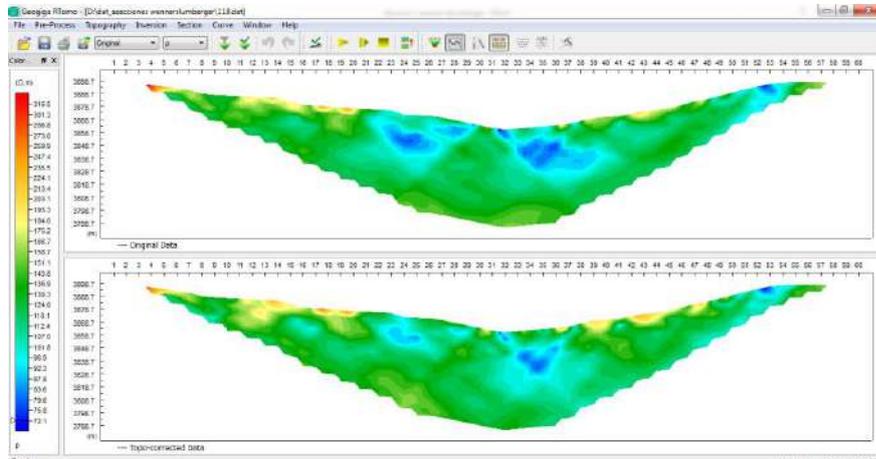


Ilustración 6.11 Proceso de corrección de topografía

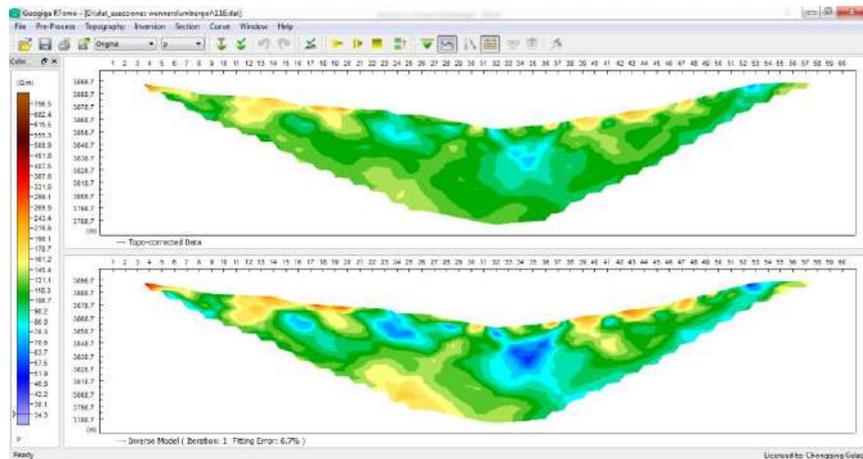


Ilustración 6.12 Proceso de inversión con un total de 1 iteración al 6.7% de error.

RESULTADO:

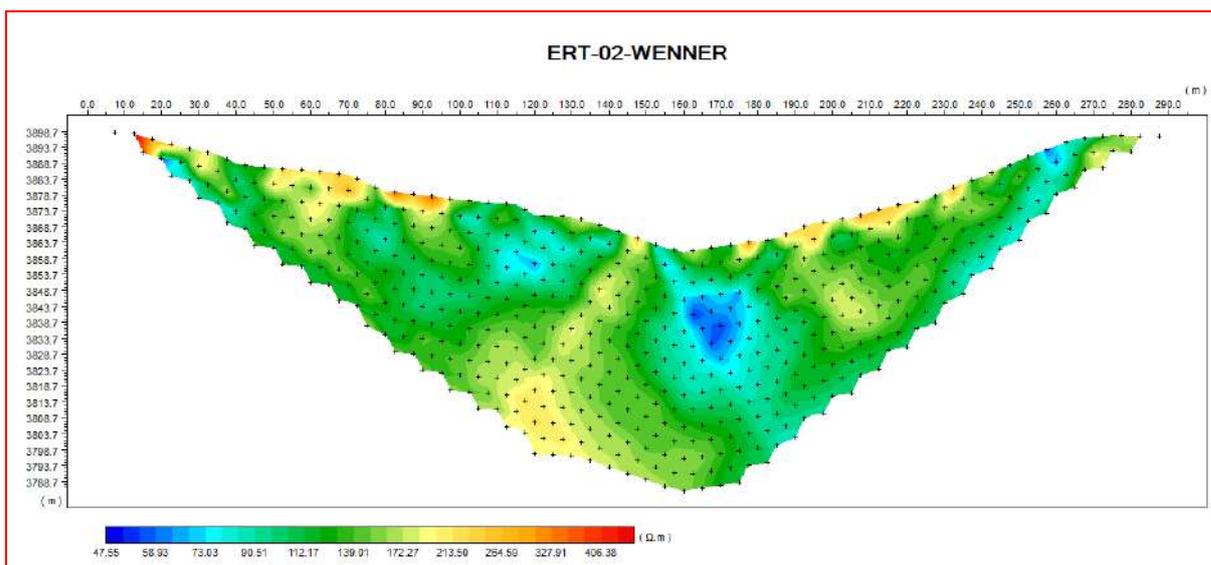


Ilustración 6.13 ERT 02 método Wenner

INTERPRETACION:

En esta sección se manifiestan zonas de resistividades bajas, entre las progresivas 0 al 140 metros que en superficie son afloramientos de calizas a profundidad aparecen zonas de resistividades entre 40 a 70 $\Omega.m$, relativamente bajas que indican que se encuentran fracturadas, ya que en superficie se manifiesta con alto grado de fracturación y plegamientos; en la parte central de la sección entre las progresiva 150 a partir de una profundidad de 15 metros hasta los 35 metros aproximadamente se observa bajas resistividades que corresponden a la circulación de agua subterránea por debajo del cauce principal de la quebrada.

B. Método WENNER SCHLUMBERGER

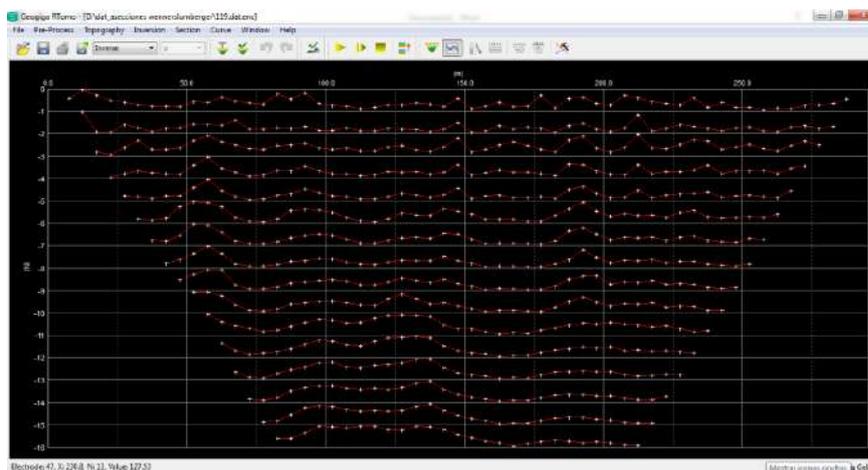


Ilustración 6.14 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.

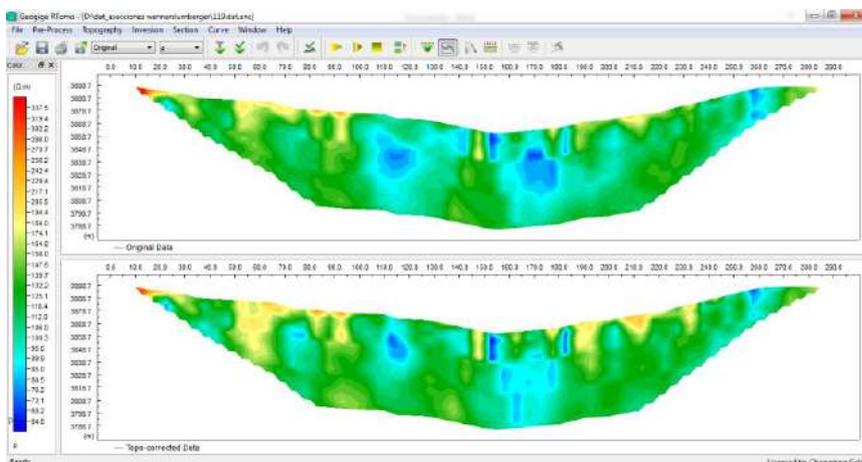


Ilustración 6.15 Proceso de corrección de topografía

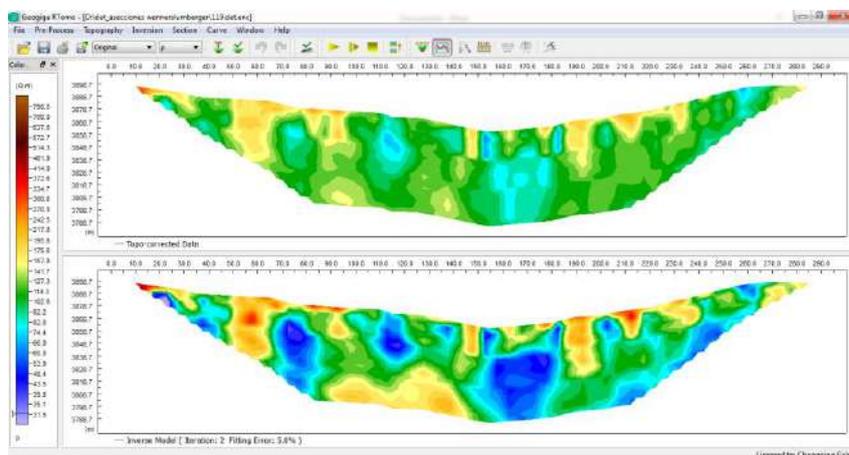


Ilustración 6.16 Proceso de inversión con un total de 2 iteración al 5 % de error.

RESULTADO:

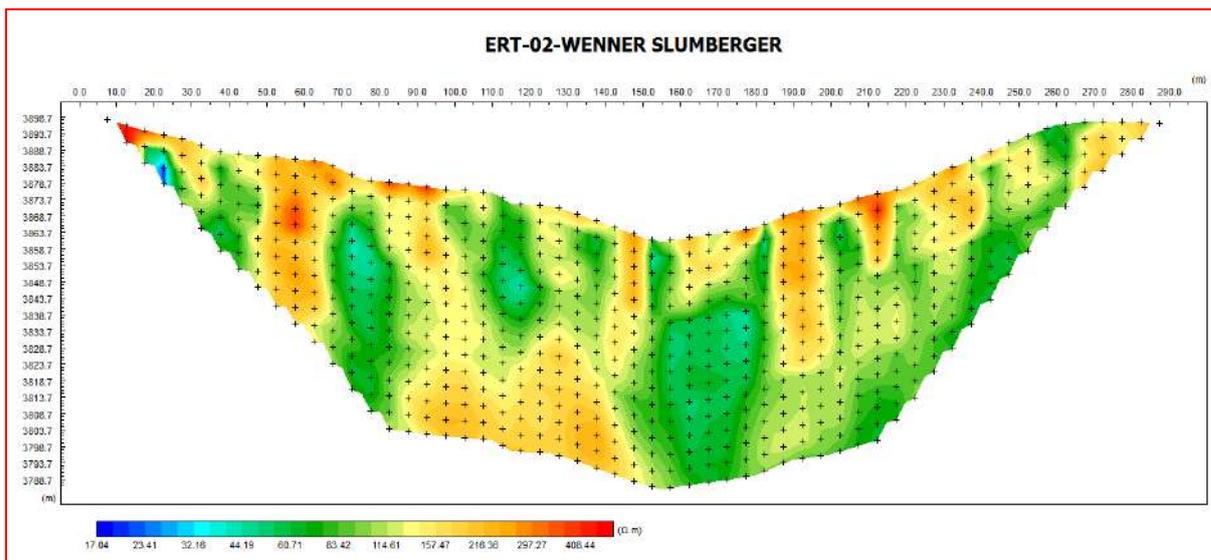


Ilustración 6.17 ERT 2 método Wenner.

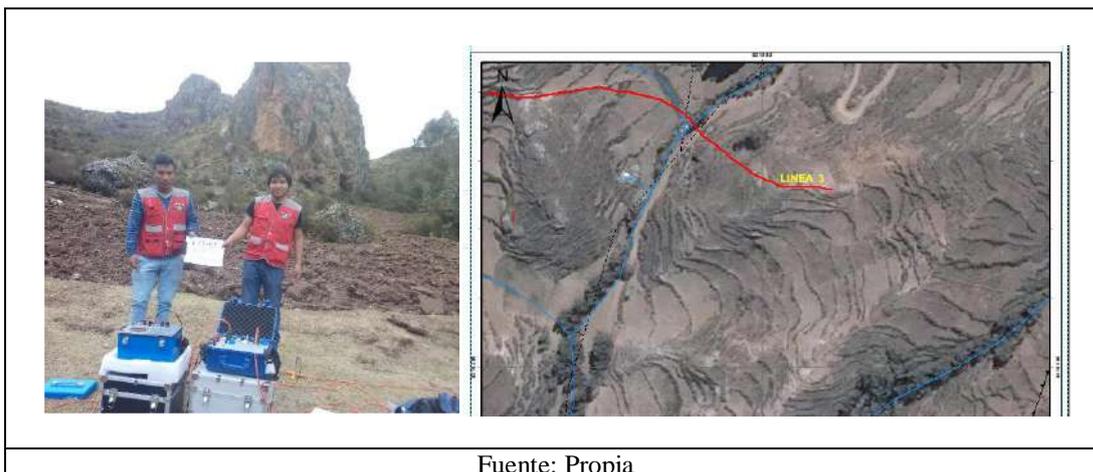
INTERPRETACION:

Al igual que en el método Wenner desde la progresiva 0 a 150 metros que se encuentran sobre afloramientos de roca caliza se encuentran zonas de debilidad con bajas resistividades los cuales estarían asociados a fracturas y circulación de aguas subterráneas; existen dos zonas entre 70 – 80 m y 110 – 120 m con resistividades bajas entre 20 a 40 Ω .m que se encuentran justo en dirección de las captaciones 3 y 4. En la zona central a profundidad se encuentra otra zona de bajas resistividades que estaría asociado a una zona de falla y circulación de agua.

6.3.3 Sección de tomografía eléctrica 3

La sección presenta una dirección Oeste – Este; se realizó por encima de la captación Jarahuaraca 2 el cual es de comportamiento constante en todo el año.

Fotografía 6.3 Ubicación e instalación de la ERT – 3



Fuente: Propia

A. Método WENNER

Se encontró un punto espurio o anómalo con resistividad alta; el cual se procedió a su respectiva corrección con un valor promedio coincidentes al patrón de la curva.

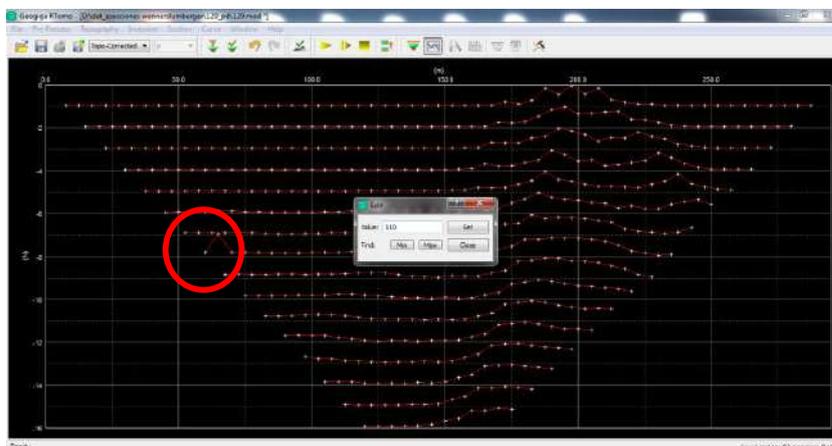


Ilustración 6.18 Evaluación y corrección de un punto espurio.

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO”.

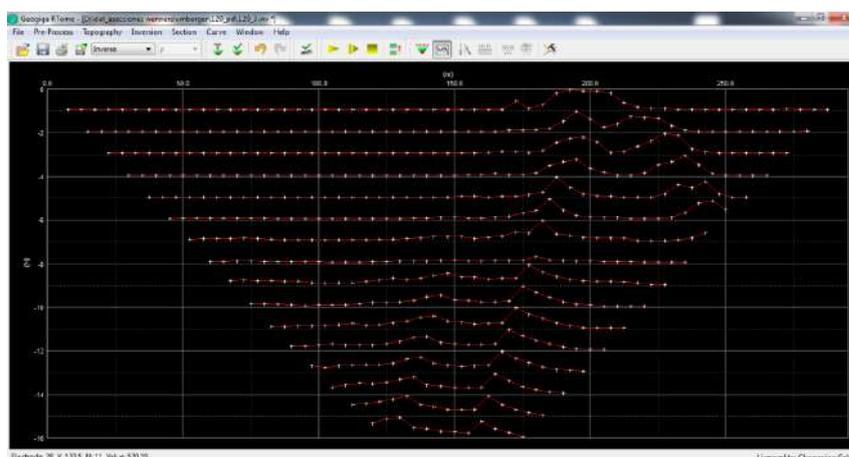


Ilustración 6.19 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos

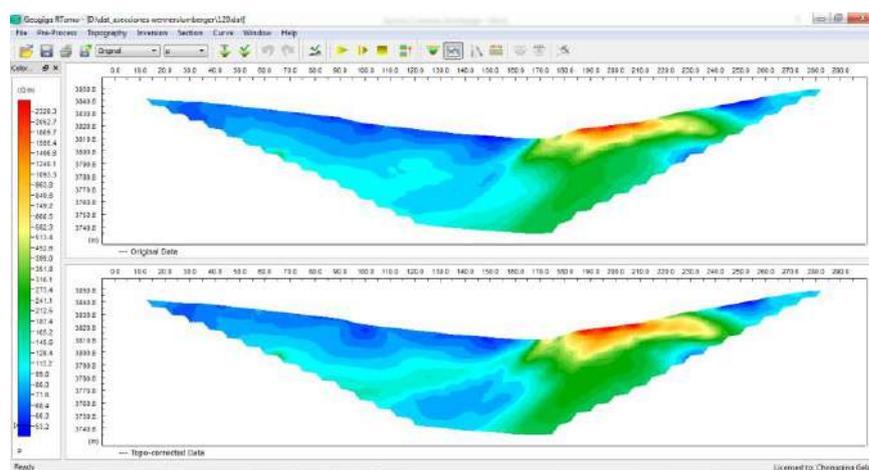


Ilustración 6.20 Proceso de corrección de topografía

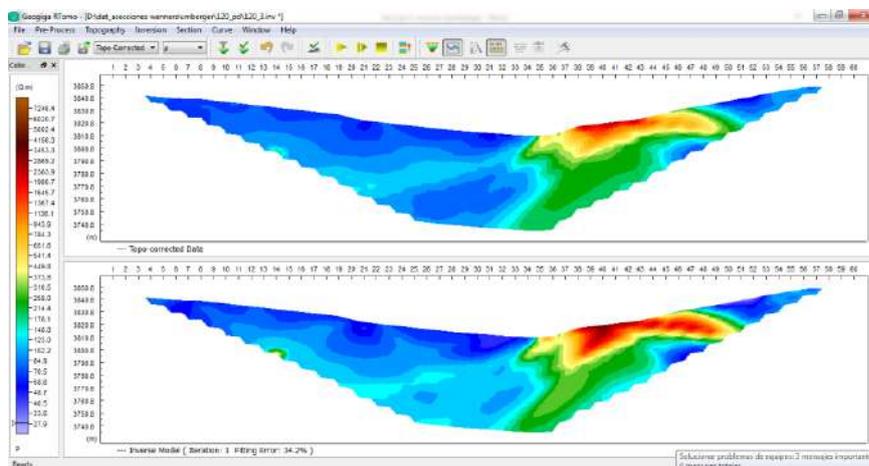


Ilustración 6.20 Proceso de inversión con un total de 1 iteración al 34.2 % de error.

RESULTADO:

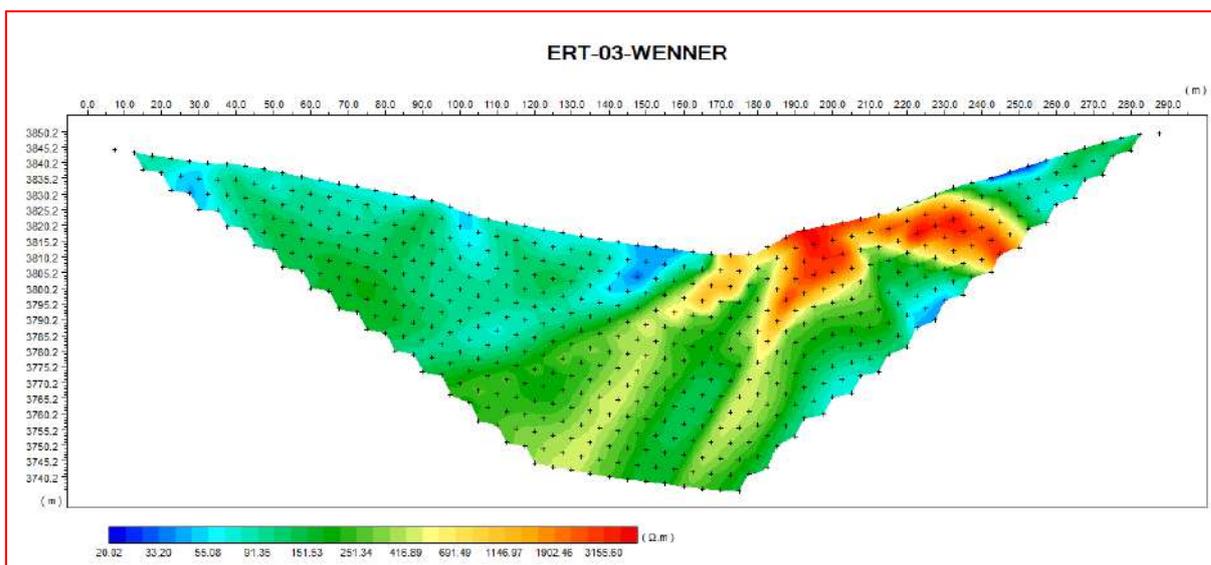


Ilustración 6.21 ERT 3 método Wenner

INTERPRETACION:

En esta sección presenta resistividades entre los 20 hasta 3000 $\Omega.m$, las resistividades altas están asociados a calizas que se manifiesta hasta profundidades de 70 metros; entre la progresiva 0 al 170 metros aproximadamente las resistividades son bajas que corresponden a depósitos de la Formación Maras y calizas altamente fracturadas; en la progresiva 100 m se tiene una resistividad baja de 30 $\Omega.m$ que tiene una coincidencia con la captación Jarahuaraca 2, entonces se infiere que esta surgencia está asociado a estas zonas de fracturación.

B. Método WENNER SLUMBERGER

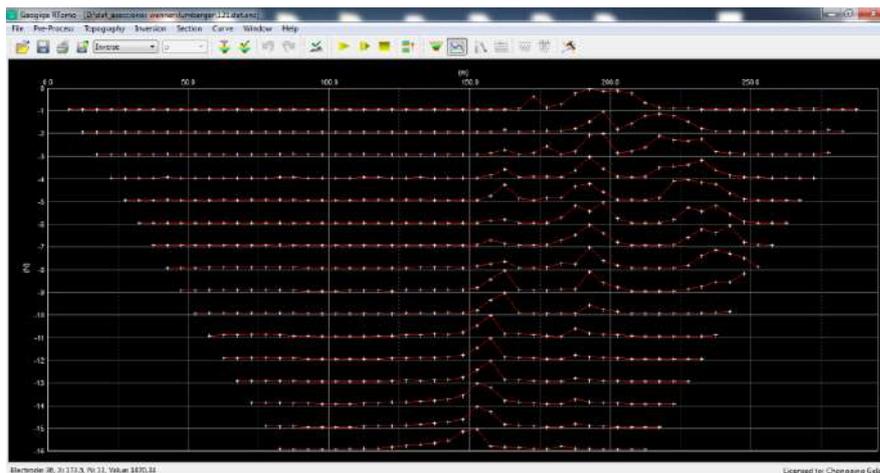


Ilustración 6.23 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.

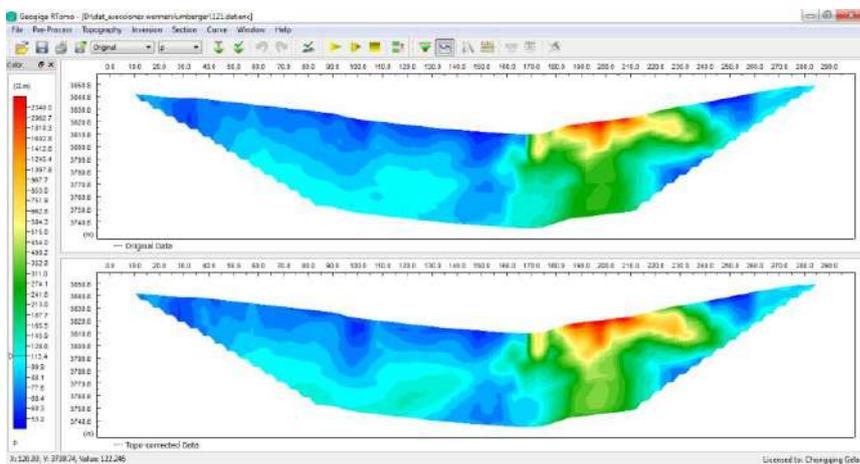


Ilustración 6.22 Proceso de corrección de topografía

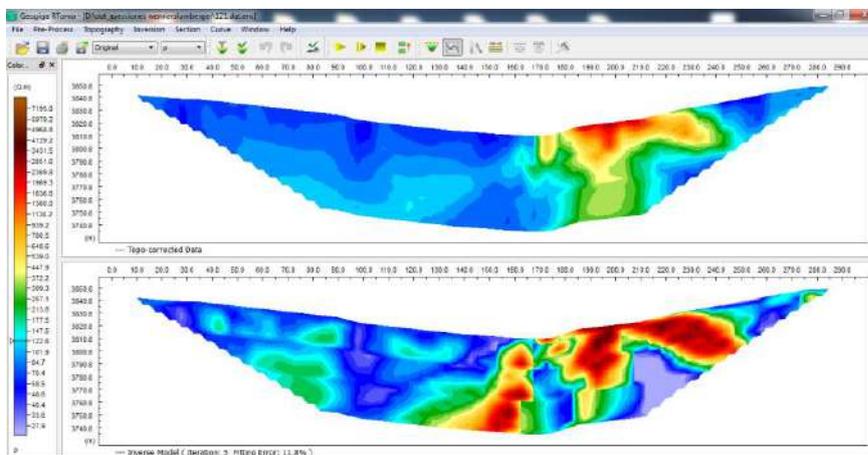


Ilustración 6.23 Proceso de inversión con un total de 1 iteración al 11.8 % de error.

RESULTADO:

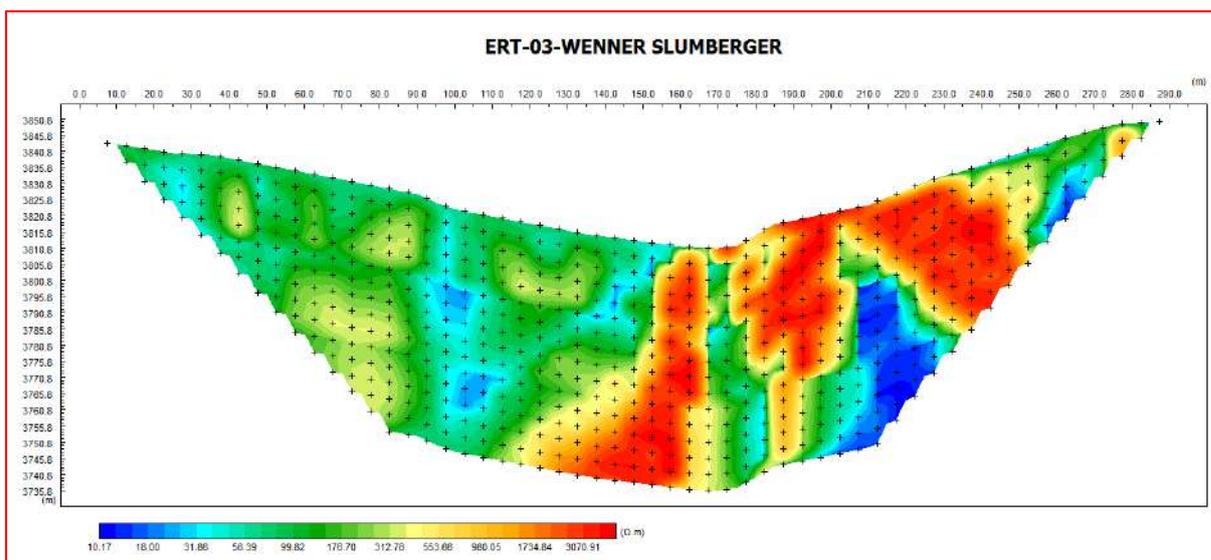


Ilustración 6.24 ERT 3 método Wenner Schlumberger.

INTERPRETACION:

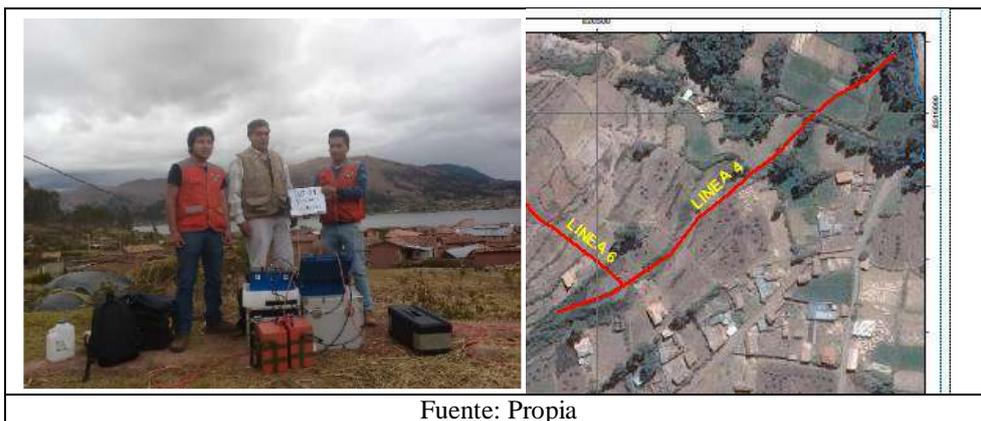
En esta sección por el método Wenner Schlumberger también en el lado derecho presenta resistividades altas pertenecientes a calizas con menor grado de fracturación llegando hasta más de 3000 Ω .m, el lado izquierdo está compuesta por materiales de resistividades bajas a medias desde 15 Ω .m hasta los 500 Ω .m; en esta imagen se nota con mejor claridad zonas de altas y bajas resistividades pertenecientes a rocas fracturadas entremezcladas con depósitos limo arcillosos de la formación Maras. En la progresiva 100 m se observa una dirección de bajas resistividades que se encuentra en la misma dirección de la captación Jarahuaraca 2.

La captación Jarahuaraca 2 presenta una orientación de bajas resistividades profundas, lo que su origen estaría asociado a un sistema de fallas.

6.3.4 Sección de tomografía eléctrica 4

La sección presenta una dirección SW –NE; esta sección se realizó en depósitos aluviales y la Formación Maras, a superficie no presenta afloramientos de roca.

Fotografía 6.4 Ubicación e instalación de la ERT – 4



A. Método WENNER

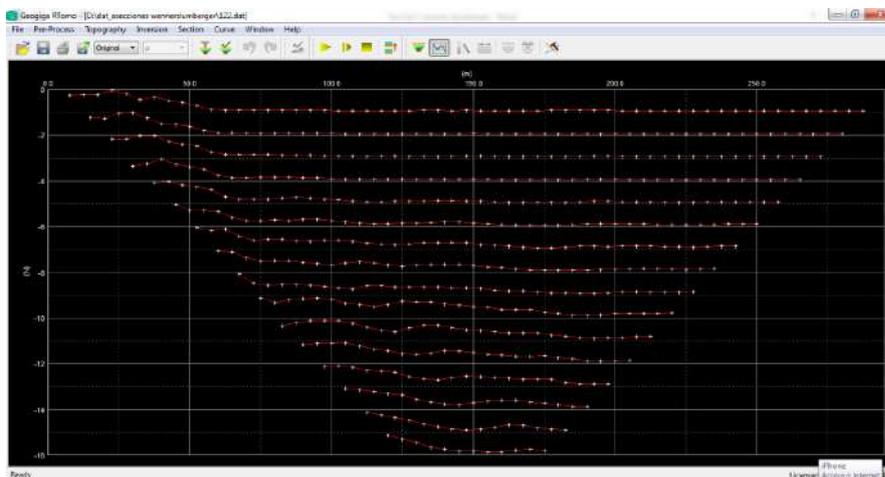


Ilustración 6.25 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos

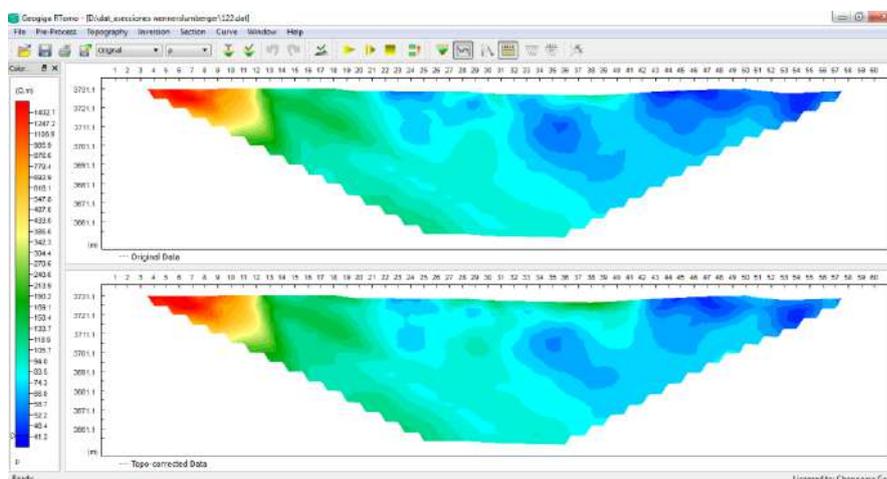


Ilustración 6.26 Proceso de corrección de topografía.

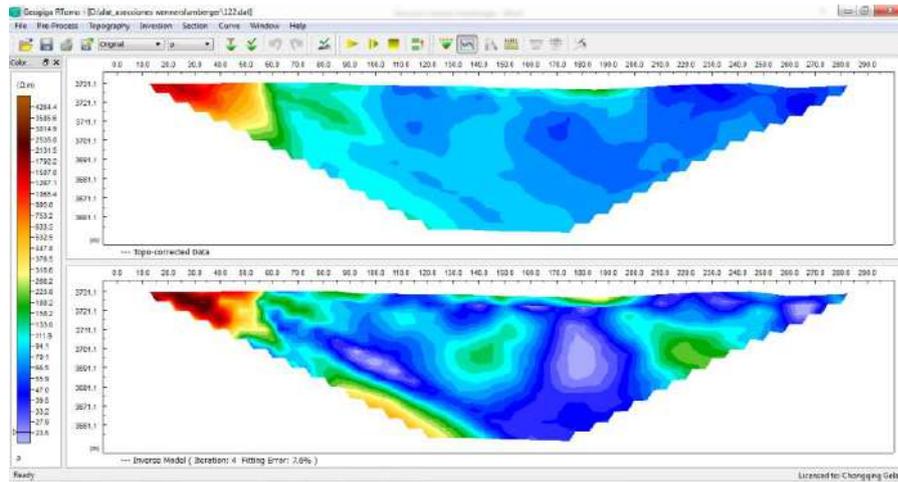


Ilustración 6.27 Proceso de inversión con un total de 4 iteraciones al 7.6 % de error.

RESULTADO:

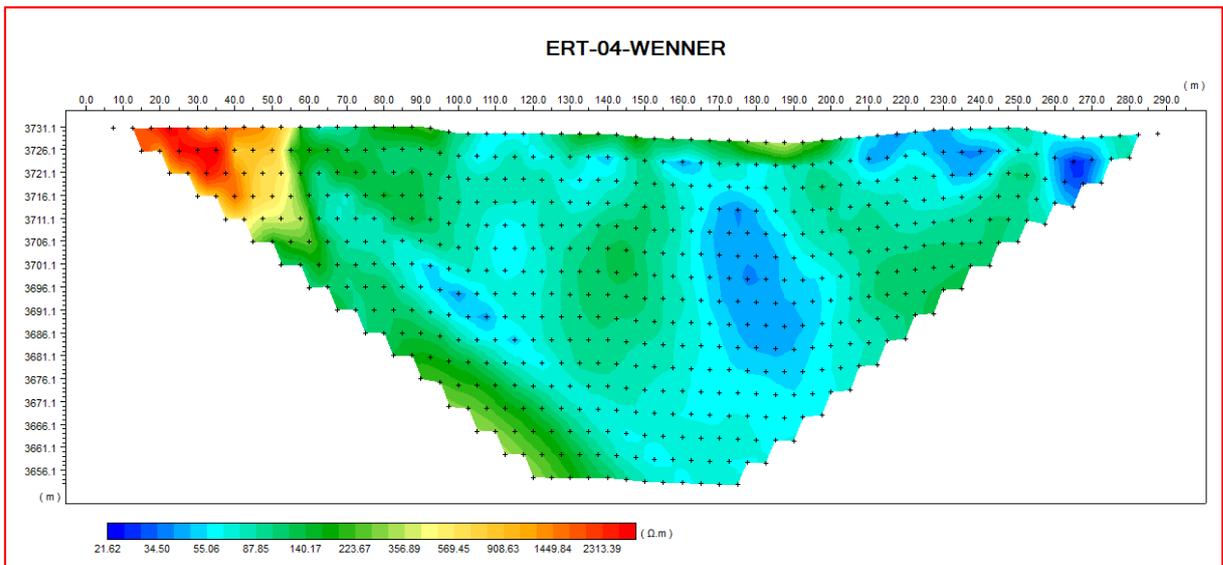


Ilustración 6.28 ERT 4 método Wenner

INTERPRETACION:

La sección en gran parte presenta bajas resistividades; las altas resistividades son desde 500 $\Omega.m$ a 3400 $\Omega.m$ hacia la parte izquierda entre las progresivas 0 – 50 m aproximadamente; estas altas resistividades serian de afloramientos de calizas que se manifiestan en formas de bloques entremezclados con la formación Maras. Las zonas de menor resistividad entre 20 a 50 m se manifiestan en formas circulares que son zonas saturadas de agua provenientes a través de la

quebrada con dirección hacia la laguna de Piuray. Los niveles freáticos se observan a partir de los 3 hasta 5 metros de profundidad pertenecientes a época de estiaje que se realizaron estos ensayos.

B. Método WENNER SLUMBERGER

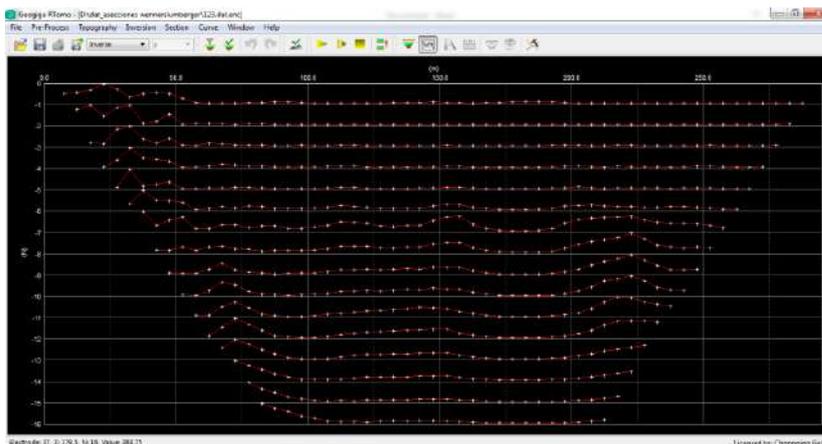


Ilustración 6.29 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.

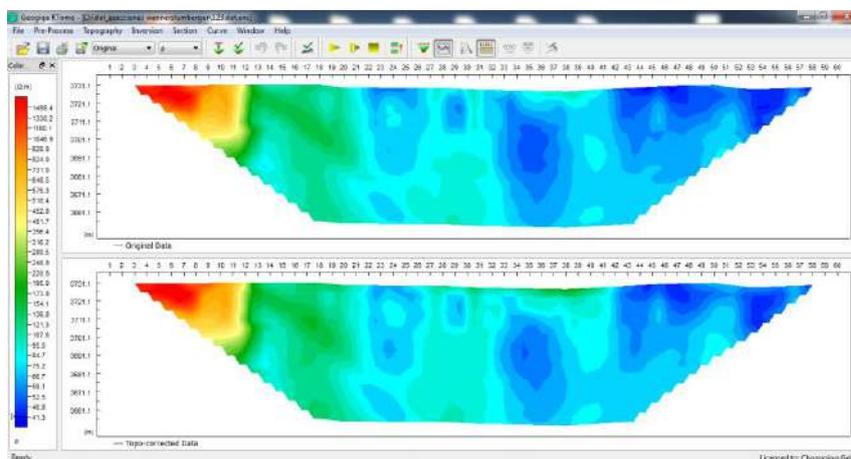


Ilustración 6.30 Proceso de corrección de topografía.

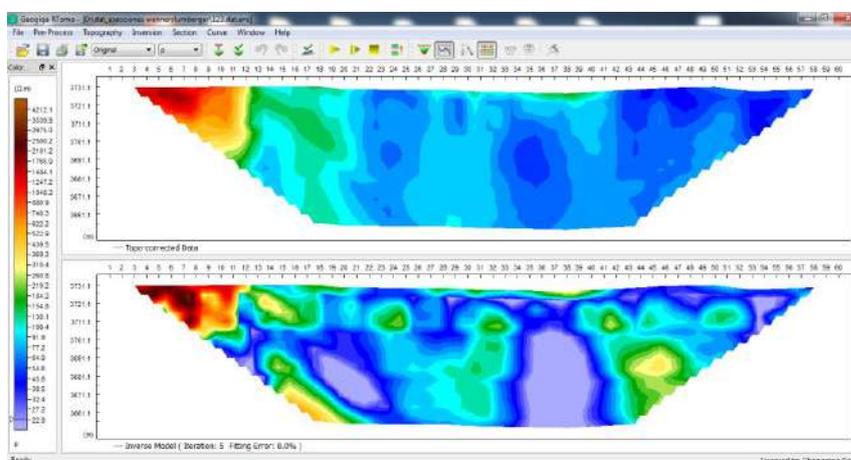


Ilustración 6.31 Proceso de inversión con un total de 5 iteraciones al 8 % de error.

RESULTADO:

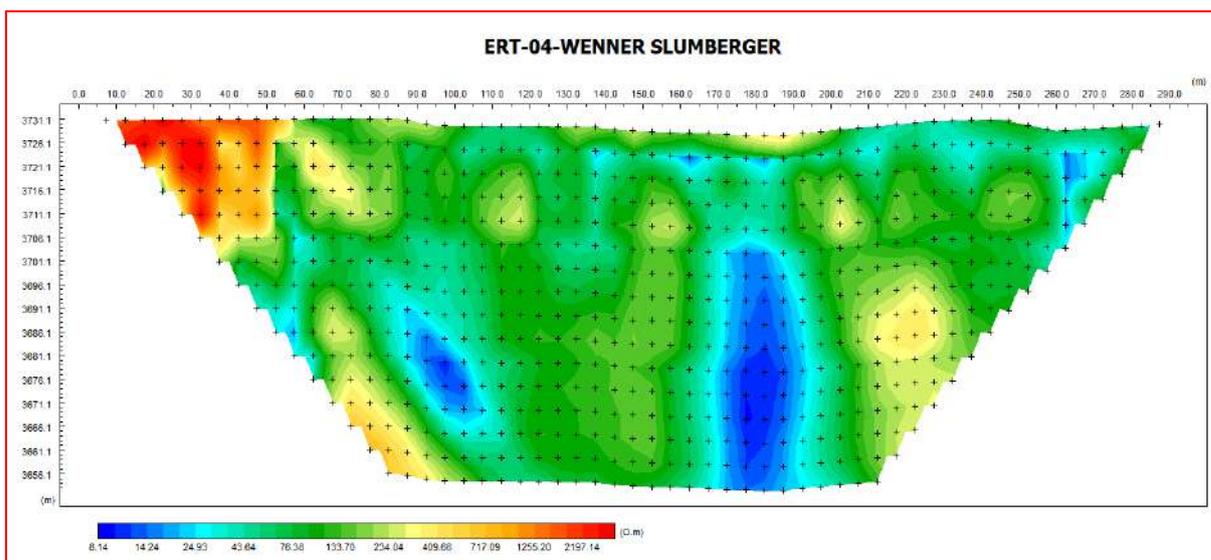


Ilustración 6.32 ERT 04 método Wenner Schlumberger

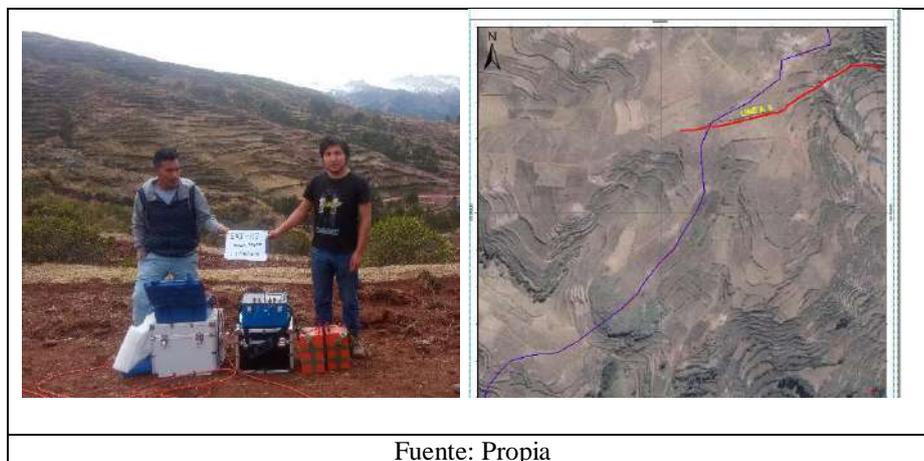
INTERPRETACION:

Similar al método Wenner se manifiesta altas resistividades en la parte izquierda entre las progresivas 0 a 60 m; existen zonas de mayor saturación y circulación de agua profunda en dirección de la laguna de Piuray a profundidades de 30 metros aproximadamente. Los niveles freáticos se encuentran por debajo de 3 a 5 metros aproximadamente.

6.3.5 Sección de tomografía eléctrica 5

La sección presenta una dirección SW –NE; esta sección se realizó sobre una planicie de depósitos de la Formación Maras para poder determinar la existencia de afloramientos rocosos a profundidad.

Fotografía 6.5 Ubicación e instalación de la ERT – 5



A. Método WENNER

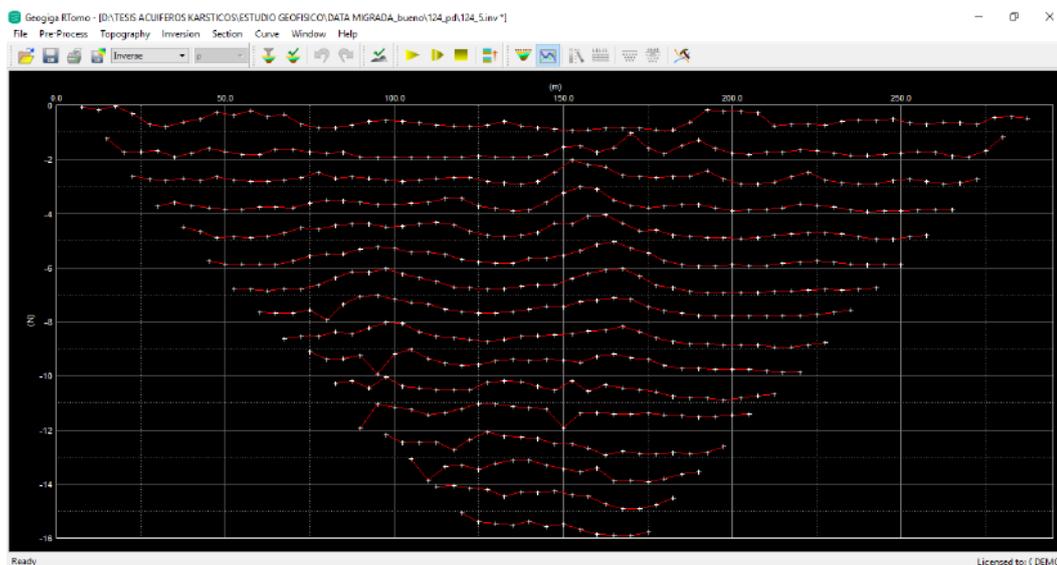


Ilustración 6.35 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO”.

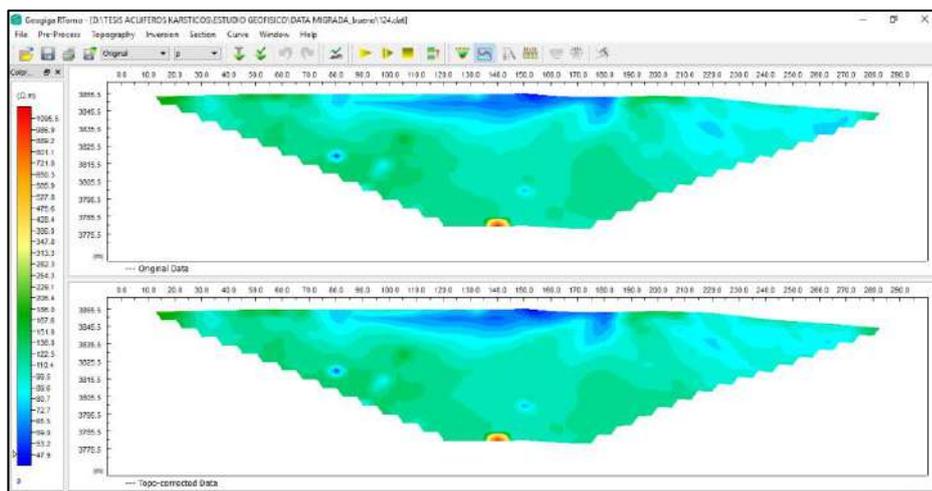


Ilustración 6.33 Proceso de corrección de topografía.

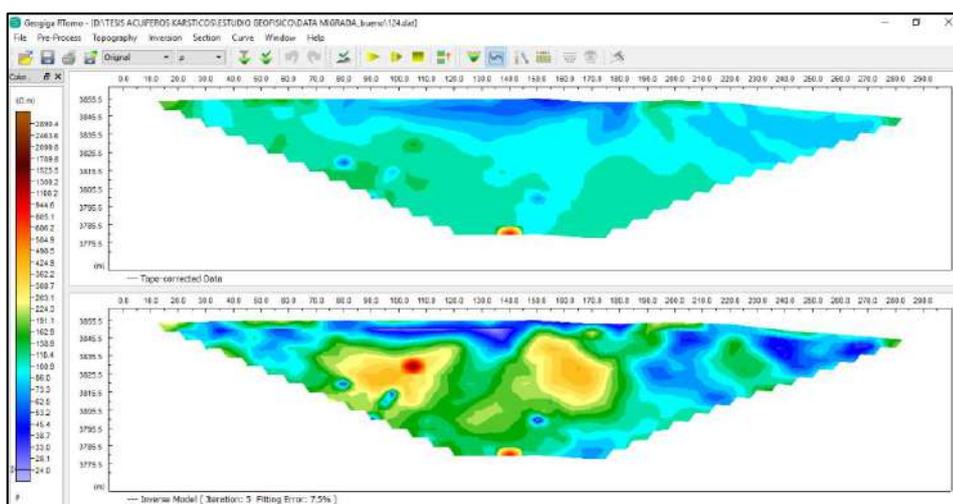


Ilustración 6.34 Proceso de inversión con un total de 5 iteraciones al 7.5 % de error.

RESULTADO:

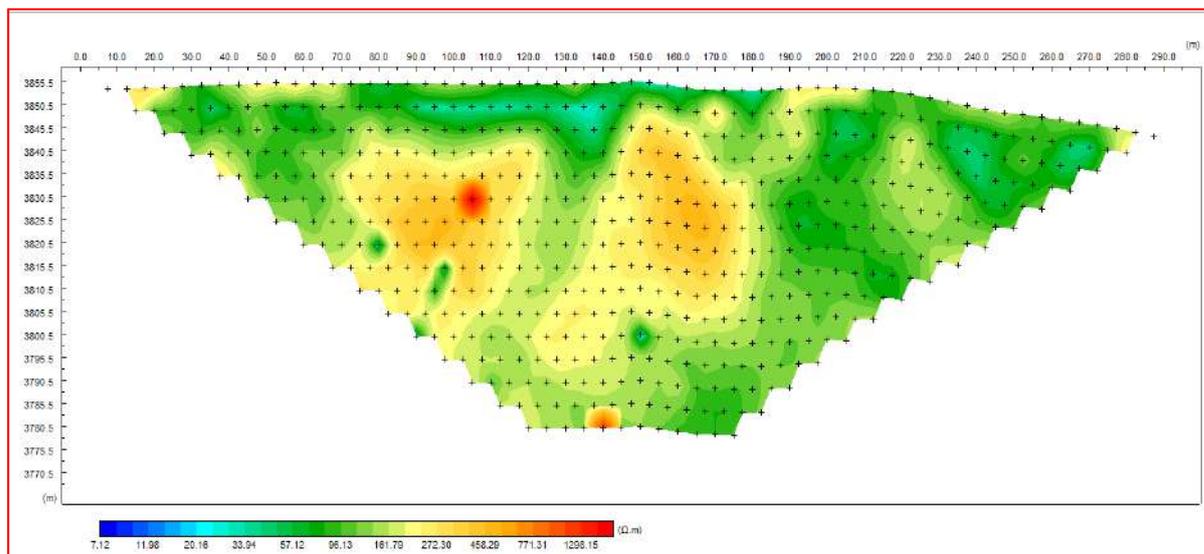


Ilustración 6.35 ERT 5 método Wenner.

INTERPRETACION:

A 5 metros en la parte central se manifiesta bajas resistividades indicando la presencia de humedad con un espesor de 5 a 7 metros con resistividades máximas de hasta 30 $\Omega.m$, sobre los 10 metros aproximadamente se manifiestan 2 bloques de altas resistividades entre 150 a 700 $\Omega.m$ lo que serían cuerpos rocosos de calizas; la parte restante de coloración verde con resistividades de 30 a 160 $\Omega.m$ indican depósitos de la formación maras de regular conductividad entremezclados con cuerpos de resistividades altas que serían fragmentos de calizas, típica disposición de la formación maras.

B. Método WENNER SLUMBERGER

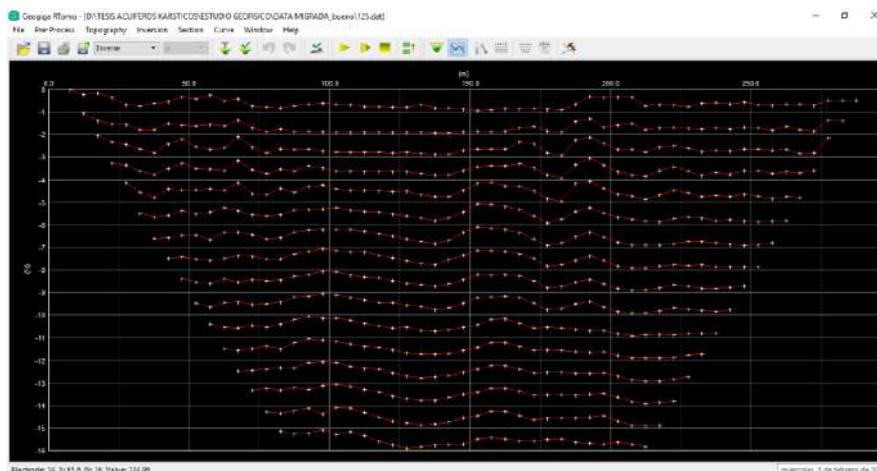


Ilustración 6.36 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.

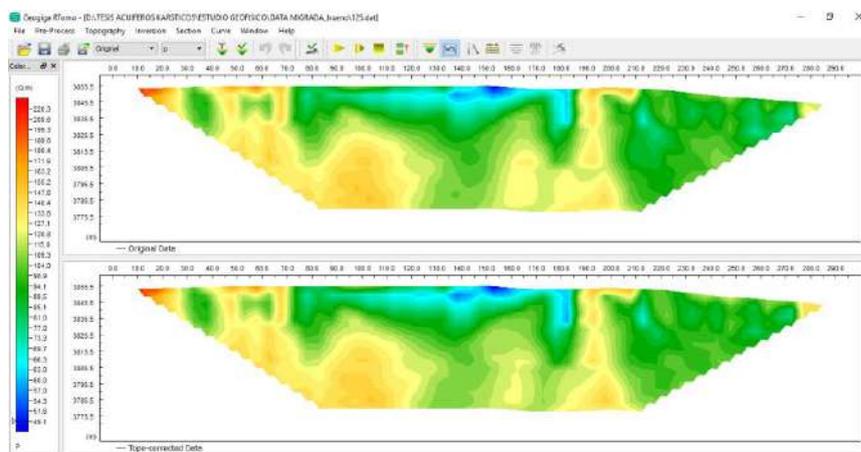


Ilustración 6.37 Proceso de corrección de topografía.

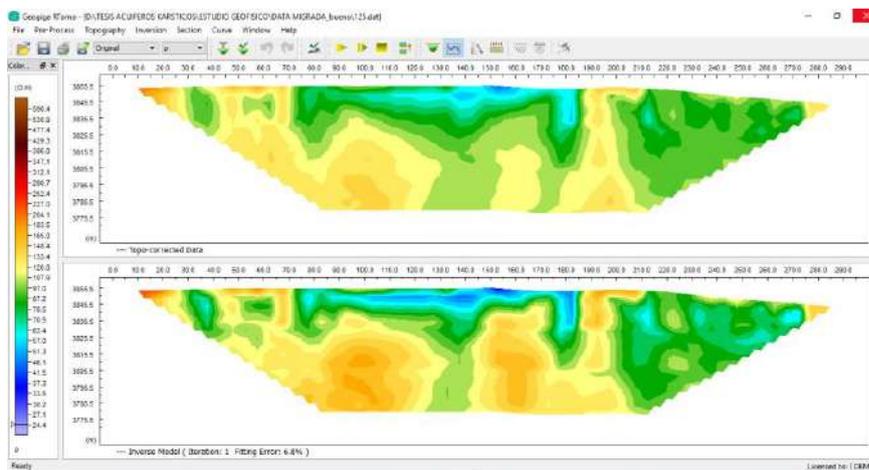


Ilustración 6.38 Proceso de inversión con un total de 1 iteraciones al 6.8 % de error.

RESULTADO:

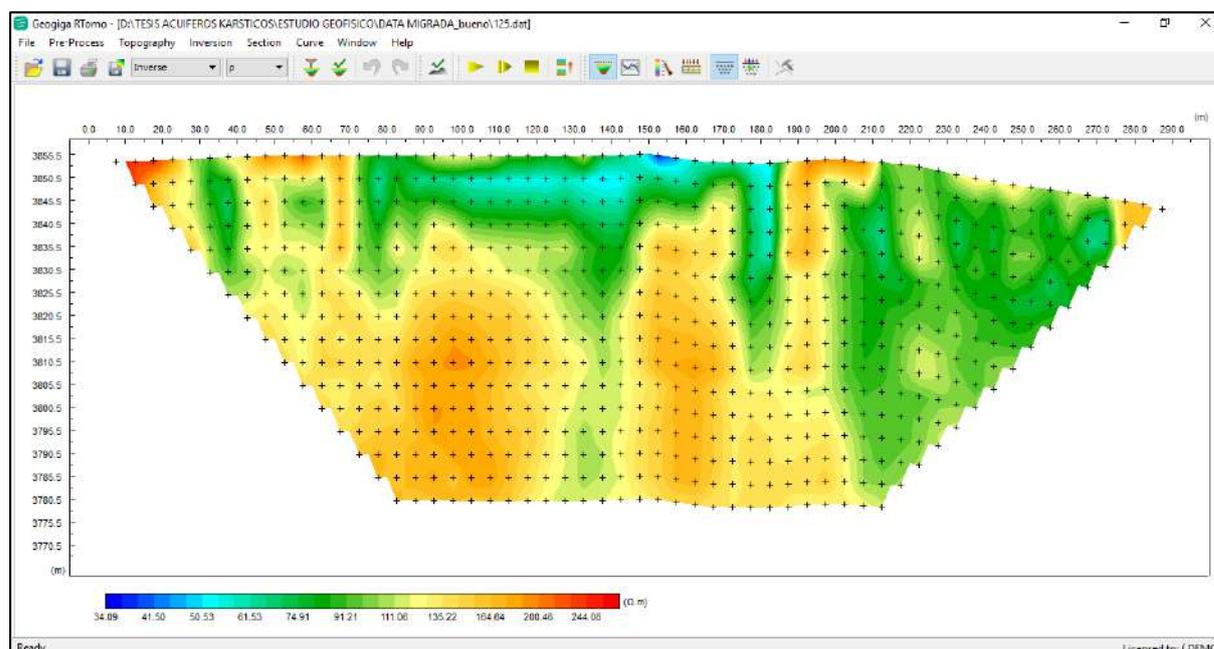


Ilustración 6.39 ERT 5 método Wenner Schlumberger

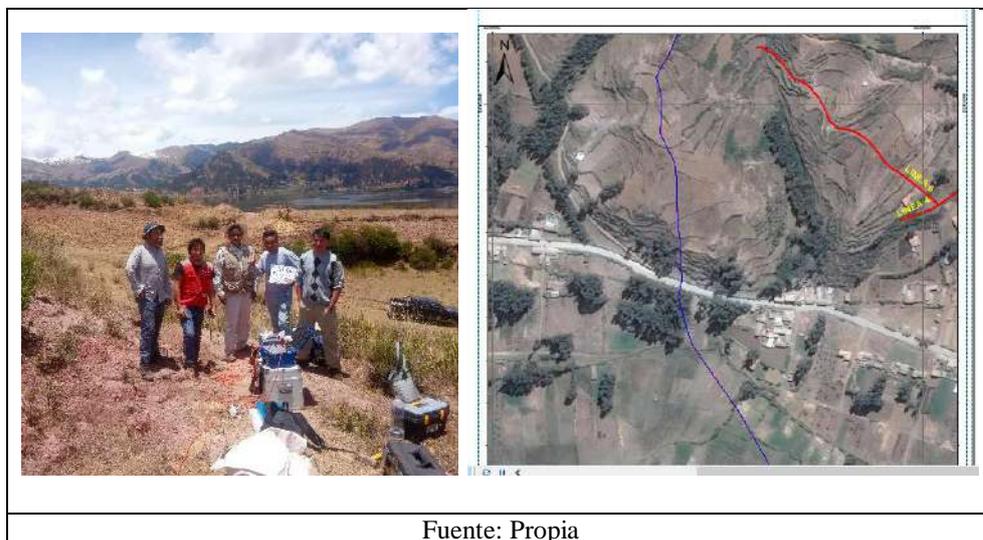
INTERPRETACION:

Por este método es más notorio que a 5 metros de profundidad existe un nivel de bajas resistividades de $40 \Omega.m$ en forma horizontal que se encuentran en contactos con los cuerpos de altas resistividades correspondientes a rocas Ayabacas que tienen continuidad a profundidad.

6.3.6 Sección de tomografía eléctrica

La sección presenta una dirección NW –SE; esta sección se realizó en depósitos de la Formación Maras, a superficie en la zona NW existe pequeños afloramientos de roca de unos 2 metros de altura.

Fotografía 6.6 Ubicación e instalación de la ERT – 6



C. Método WENNER

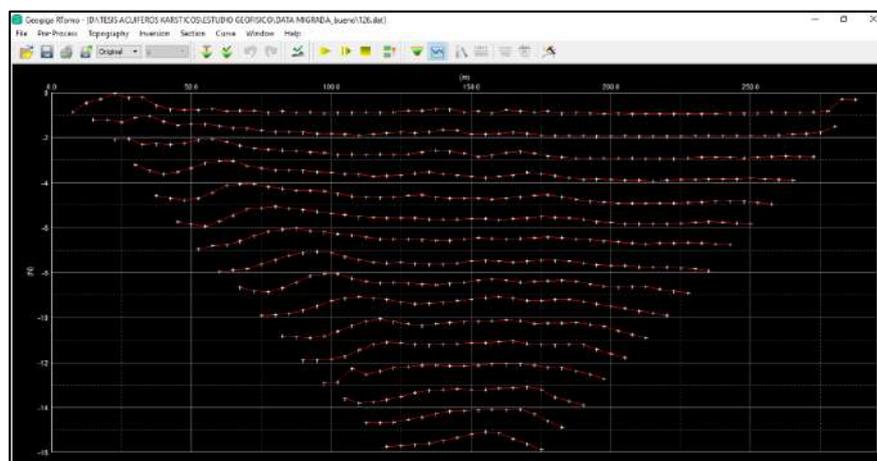


Ilustración 6.43 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO”.

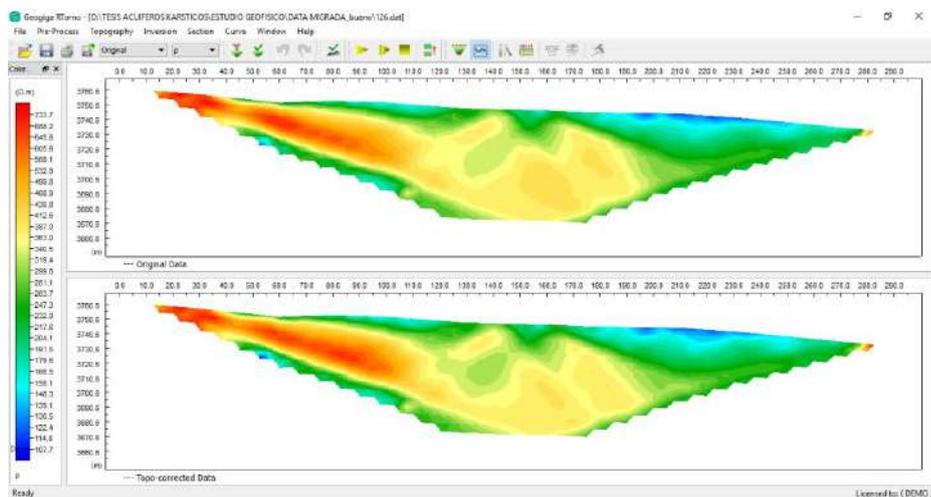


Ilustración 6.40 Proceso de corrección de topografía

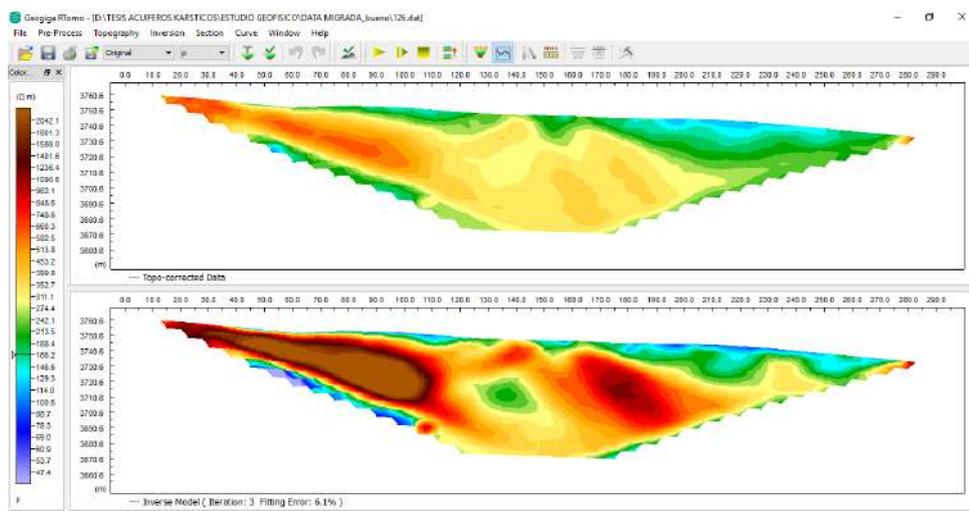


Ilustración 6.41 Proceso de inversión con un total de 3 iteraciones al 6.1 % de error.

RESULTADO:

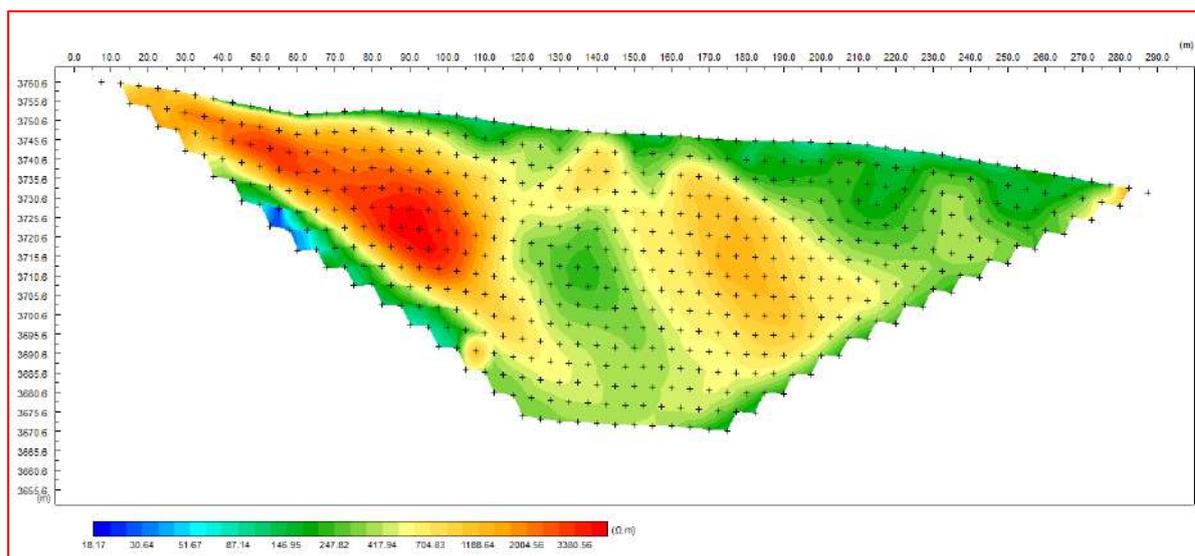


Ilustración 6.42 ERT 6 método Wenner.

INTERPRETACION:

Esta sección se encuentra sobre depósitos de la formación Maras y pequeños afloramientos de calizas, se realizó para determinar el comportamiento de estos pequeños afloramientos a profundidad, en el cual se observa que desde la progresiva 1 que es donde se observa los afloramientos pequeños este presenta una orientación hacia el SW, el cuerpo de altas resistividades es parecida al de la sección número 5, esto indicaría que son los mismos cuerpos de caliza. Hacia las progresivas finales presenta resistividades medianas aproximadas de 150 $\Omega.m$ que corresponden a depósitos aluviales y de la formación Maras.

Por debajo sobre los 30 metros en la parte inicial de la sección se manifiesta resistividades bajas de 30 $\Omega.m$ que corresponden a zonas de circulación de aguas.

D. Método WENNER SLUMBERGER

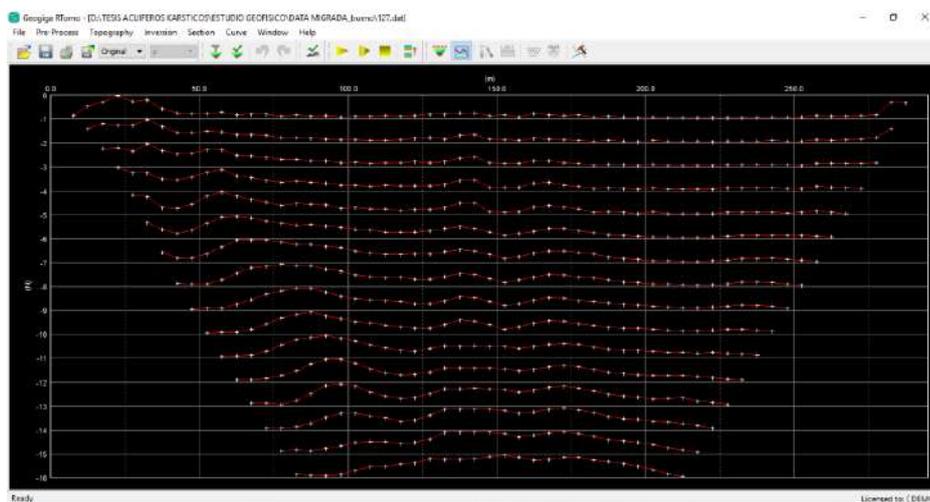


Ilustración 6.43 Evaluación de control de calidad para la inexistencia de puntos anómalos.

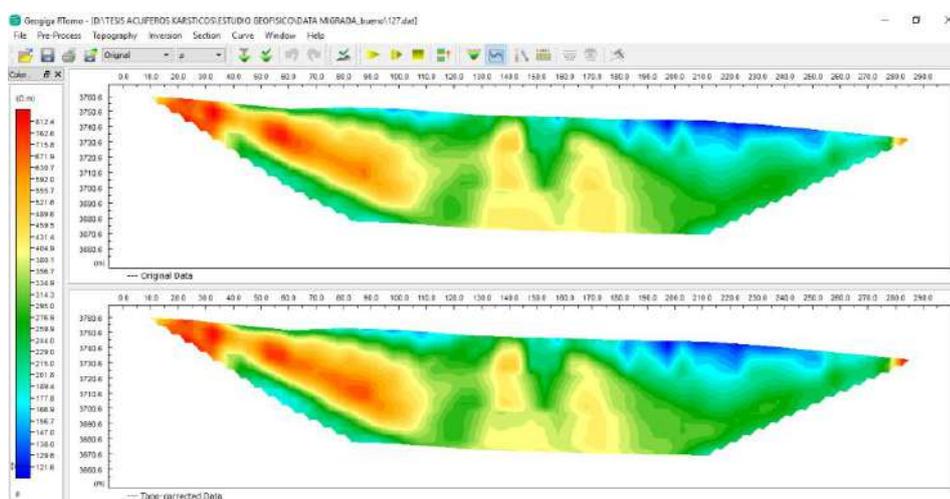


Ilustración 6.44 Proceso de corrección de topografía

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO”.

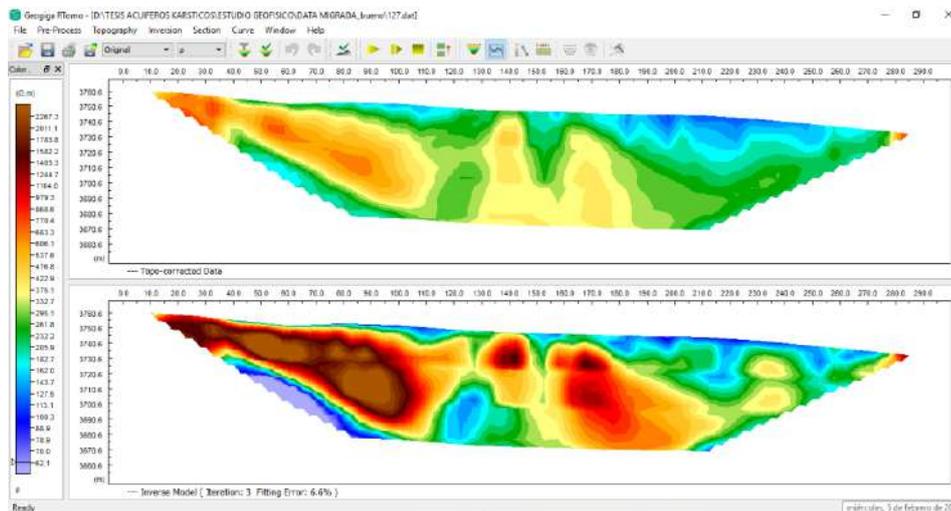


Ilustración 6.45 Proceso de inversión con un total de 3 iteraciones al 6.6 % de error.

RESULTADO:

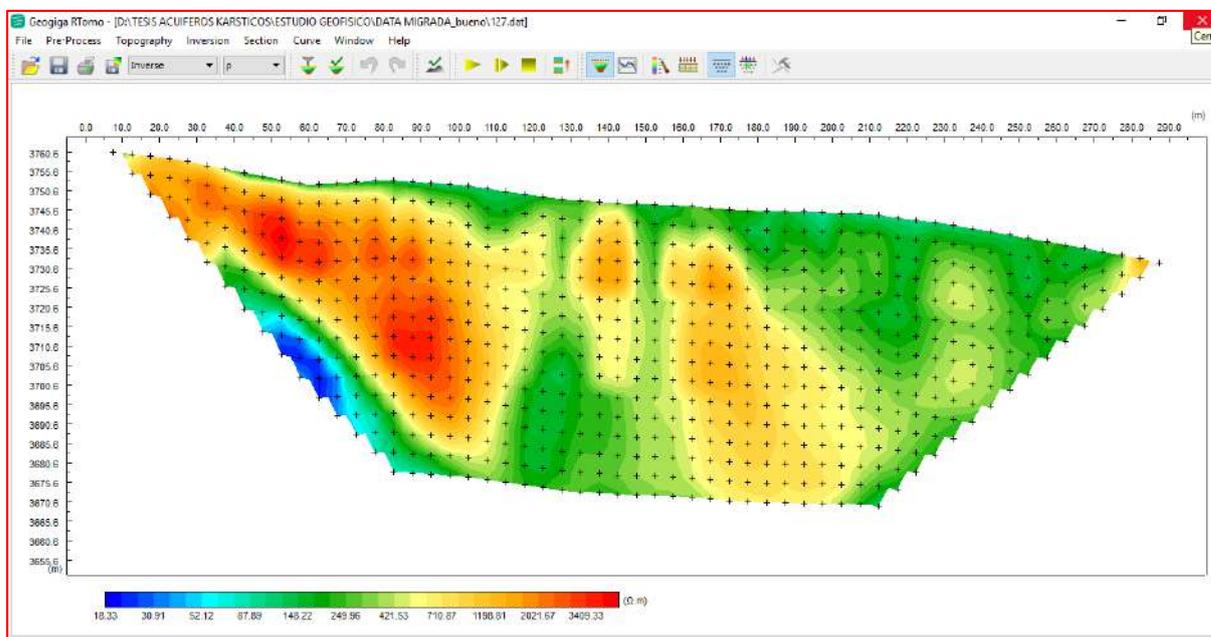


Ilustración 6.46 ERT 1 método Wenner Schlumberger.

INTERPRETACION:

Esta sección presenta una manifestación similar al método Wenner, se puede notar con más claridad que los cuerpos de caliza están separadas indicando que están fracturadas, sobre los 30 metros se observa con mayor notoriedad la existencia de circulación de agua con resistividad de hasta 30 Ω .m.

6.4 VISUALIZACION 3D DE LAS SECCIONES DE TOMOGRAFIA ELECTRICA

Para la visualización de las secciones en un modo espacial se usó el software Geogiga Rimage mediante la herramienta de proceso RViewer 6.0

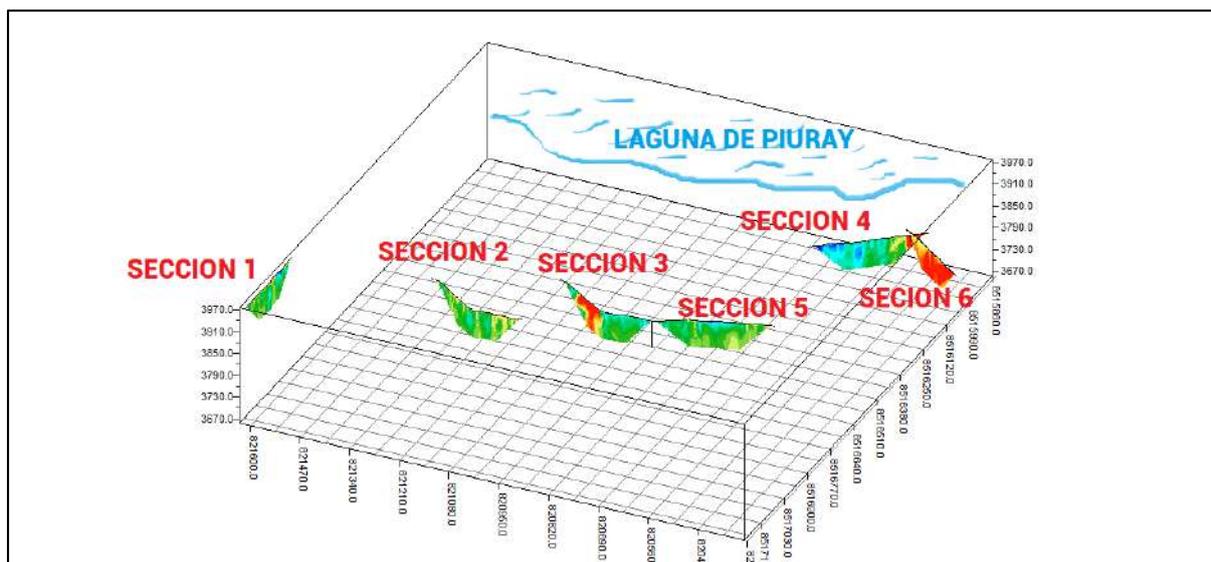


Ilustración 6.47 vista 3D de las secciones de tomografía Método Wenner. Fuente: Elaboración propia.

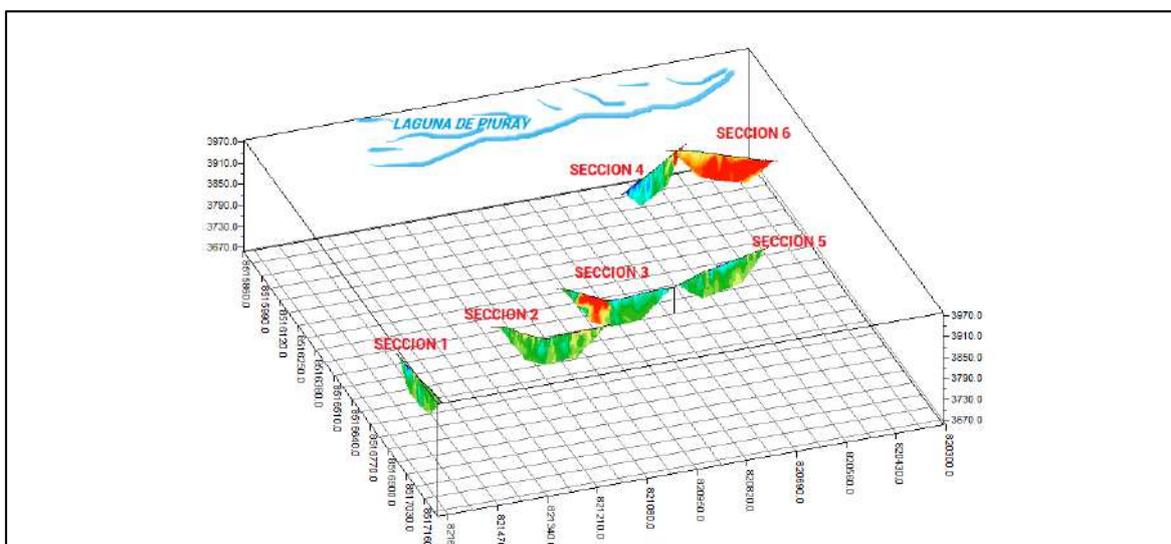


Ilustración 6.48 vista 3D de las secciones de tomografía Método Wenner Schlumberger. Fuente: Elaboración propia.

Las secciones se encuentran en orden ascendente desde la parte superior de la quebrada hasta llegar a los depósitos coluviales de la localidad de Pucamarca con la sección 4 y la sección 6 en donde se observa zonas de saturación por donde existe circulación de aguas subterráneas.

CAPITULO VII: CARACTERIZACION HIDROQUIMICA

7.1 PARAMETROS FISICOQUIMICOS

Para la medición de datos fisicoquímicos se realizó con un Multiparámetro portátil de marca HANNA HI929829 y la migración y procesado de los datos mediante el software HI929829, siendo tomados in situ en las fechas indicadas en la tabla de datos.

7.1.1 Temperatura

La temperatura de los manantes y las captaciones están entre 11.48°C – 15.22°C con un promedio de 12.91°C el manante que presenta la mínima temperatura es el manante 2 llamado Jacaclluhuayco que está ubicado al oeste de la zona de estudio; este manante tiene una surgencia de rocas calizas y además está asociado al sistema de fallas Piuray, la mínima temperatura estaría relacionada a que son aguas profundas adicionalmente a esto presenta un caudal constante durante todo el año pero con una productividad mínima.

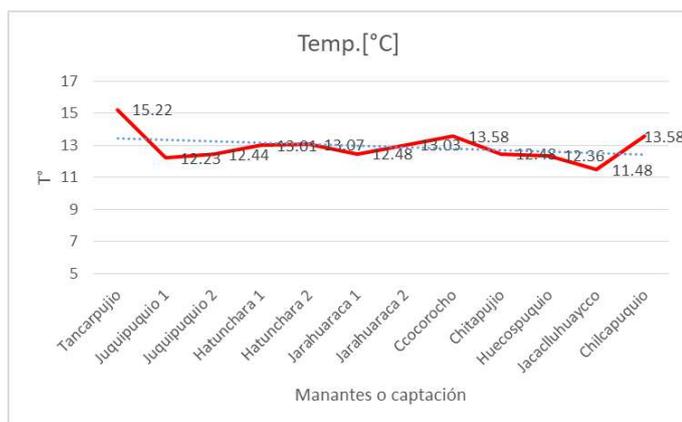


Ilustración 7.1 Diagrama comparativo para temperatura. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 pH

Dentro de este parámetro todo los manantes se encuentran en un rango de 6.95 – 7.74 con un promedio de 7.29 que representan a aguas neutras.

Según Martínez Vidal los valores de pH deben de estar entre 6.5 a 8.5 (1997, pág. 93) a esto también mantienen los mismos parametros admisibles de pH el Ministerio de salud del Peru mediante la DIGESA, por ende son de aguas aptos para el consumo humano (MINSA, 2011).

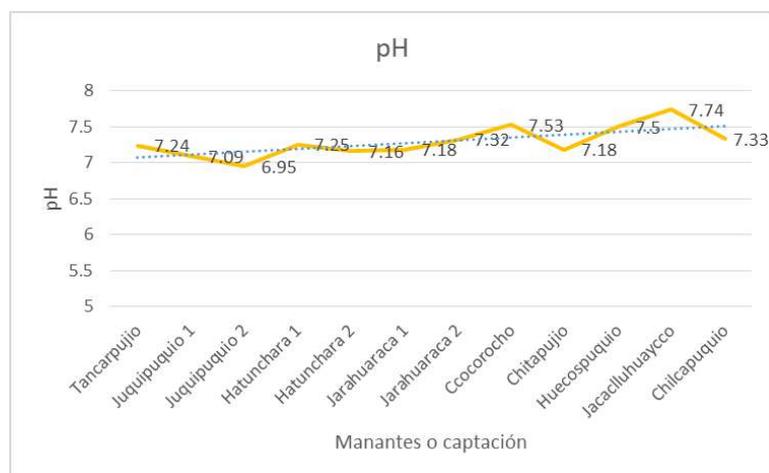


Ilustración 7.2 Diagrama comparativo para pH. Fuente: Elaboración propia

7.1.3 Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Como la CE es la actividad iónica en una solución; para los manantiales y captaciones dentro de la zona de estudio presentan valores entre $322 \mu\text{S}/\text{cm}$ – $805 \mu\text{S}/\text{cm}$, siendo el valor más alto de este grupo la captación 6 Jarahuaraca 2 con un valor de $805 \mu\text{S}/\text{cm}$ que indica este comportamiento ya que proviene de materiales kársticos con composición de iones como sales de la Formación Maras y Ayabacas.

Por otra parte se hizo la medición de 2 manantiales ubicadas en cotas más bajas con valores altos como es el caso del manantial 3 Chilcapuquio que está dentro de Pucamarca con una conductividad de $1232 \mu\text{S}/\text{cm}$ y el manantial 1 Tancarpuquio con un valor de $1554 \mu\text{S}/\text{cm}$ del sector de Ayllopongo hacia el este de la zona de estudio, por ende este último sobrepasa los valores admitidos según los estándares de la calidad para el consumo humano ECA 1 que es hasta $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$; ambos surgen en depósitos cuaternarios aluviales; este comportamiento se debe a que contienen mayores

cantidades de componentes iónicos debido a su ubicación distal en circulación de agua respecto a la zona de aportes.

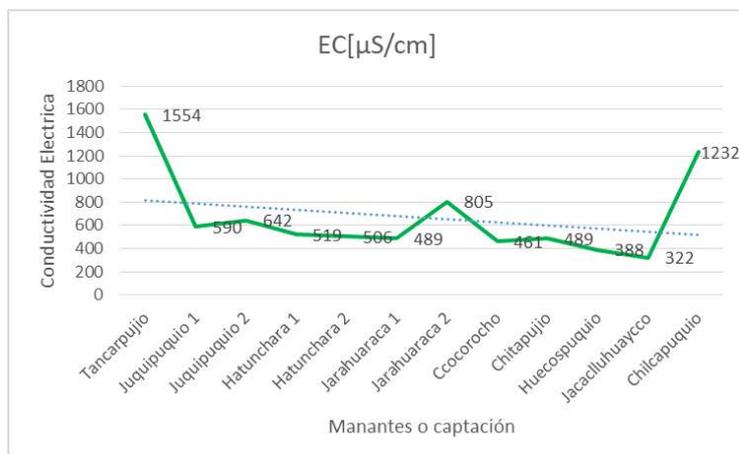


Ilustración 7.3 Diagrama comparativo para CE. Fuente: Elaboración propia

7.1.4 TDS (ppm)

Este parámetro es directamente proporcional a los valores de conductividad eléctrica, por ende presentan el mismo comportamiento con valores entre 161 ppm -777 ppm que son menores a 1000 ppm el límite máximo aceptado por la DIGESA.

Los valores de salinidad en psu también son directamente proporcionales a los datos de conductividad y TDS.

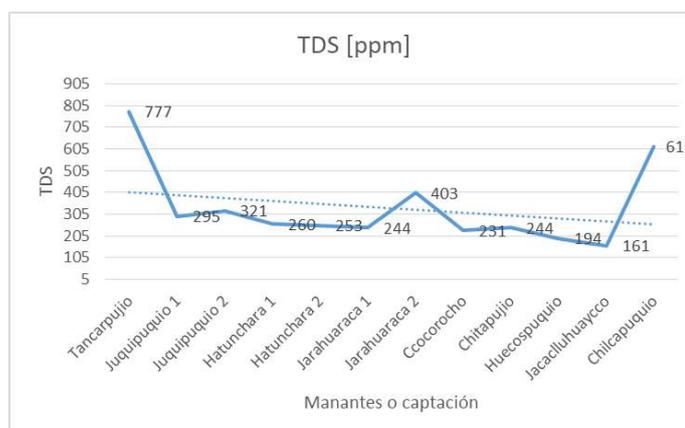


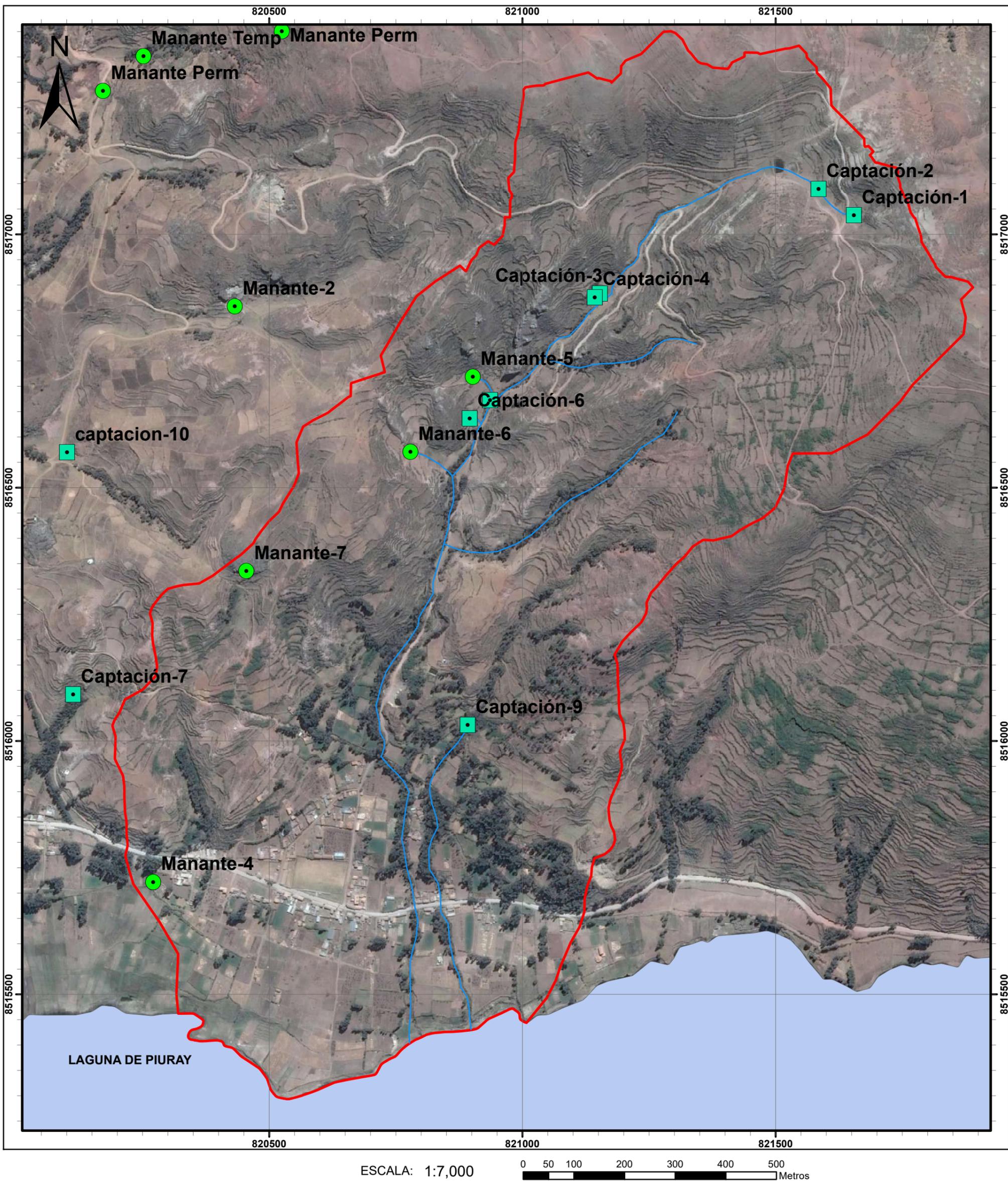
Ilustración 7.4 Diagrama comparativo para TDS. Fuente: Elaboración propia

Todos estos valores se detallan en la tabla a continuación.

Tabla 7.1 Parámetros fisicoquímicos

N	Datos			Coordenadas UTM		Parámetros fisicoquímicos												
	TIPO	NOMBRE	LUGAR	ESTE	NORTE	Temp [°C]	pH	EC [μS/cm]	TDS [ppm]	Sal. [psu]	D.O. [ppm]	D.O. [%]	mV [pH]	ORP [mV]	EC Abs. [μS/cm]	Press. [psi]	RES [Ohm-cm]	Fecha
1	Manante-1	Tancarpujio	Ayillopongo	819572	8515515	15.22	7.24	1554	777	0.789	0.16	2.4	-9.4	272.7	1265	9.596	644	3/05/2019
2	Captación-1	Juquipuquio 1	Pucamarca	821655	8517038	12.23	7.09	590	295	0.288	0.17	2.5	4.4	111.9	447	9.262	1695	23/02/2019
3	Captación-2	Juquipuquio 2	Pucamarca	821585	8517089	12.44	6.95	642	321	0.315	2.26	34.1	6.7	206.6	488	9.206	1558	2/03/2019
4	Captación-3	Hatunchara 1	Pucamarca	821153	8516883	13.01	7.25	519	260	0.253	0.44	6.7	-4.4	208.7	401	9.355	1927	23/02/2019
5	Captación-4	Hatunchara 2	Pucamarca	821143	8516876	13.07	7.16	506	253	0.246	0.49	7.4	0.8	177.8	391	9.38	1976	23/02/2019
6	Captación-5	Jarahuaraca 1	Pucamarca	820936	8516673	12.48	7.18	489	244	0.238	0.4	6.0	-0.4	256.2	373	9.386	2045	23/02/2019
7	Captación-6	Jarahuaraca 2	Pucamarca	820896	8516637	13.03	7.32	805	403	0.398	0.42	6.3	-8.1	252.7	622	9.378	1242	23/02/2019
8	Captación-7	Ccococho	Huitapujio	820113	8516092	13.58	7.53	461	231	0.224	5.03	75.7	-25	310.8	361	9.487	2169	2/03/2019
9	Captación-8	Chitapujio	Huitapujio	819580	8516061	12.48	7.18	489	244	0.238	0.4	68.6	-4.3	278.1	166	9.512	2045	2/03/2019
10	Captación-9	Huecospuquio	Pucamarca	820892	8516032	12.36	7.5	388	194	0.188	0.46	6.7	-23.3	270.7	295	9.473	2577	3/05/2019
11	manante-2	Jacaclluhuayco	Tambocancha	820432	8516858	11.48	7.74	322	161	0.155	0.49	7.1	-36.4	270.9	240	9.416	3106	3/05/2019
12	manante-3	Chilcapuquio	Pucamarca	820271	8515722	13.58	7.33	1232	616	0.619	0.54	8.1	-14	278.8	965	9.538	812	3/05/2019

Fuente: Elaboracion Propia



SIMBOLOGIA

TIPODE

- CAPTACION
- MANANTE
- DRENAJE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PLANO:		MANANTES Y CAPTACIONES
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"		
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM: 19 S WGS 84
PROVINCIA:	URUBAMBA	ELABORADO: Bch. Carlos William Huaman Succo Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela
DISTRITO:	CHINCHERO	Asesor: Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana
COMUNIDAD:	CCAMU - PUCAMARCA	FECHA: Enero 2020
		ESCALA: 1:7000
		P-10

7.2 HIDROGEOQUÍMICA DE LA QUEBRADA DE PUCAMARCA

Para determinar las características hidroquímicas del agua subterránea; en el lugar de estudio, se considero como base el mapa de inventario de fuentes, para lo cual se ha evaluado las concentraciones de los componentes iónicos mayoritarios en el agua, como los cationes y aniones, además incluir el análisis de los principales metales disueltos.

Para el análisis de estos datos se realizó un muestreo y análisis de 11 unidades en el laboratorio de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. La interpretación de los datos se realizó en base al cálculo de determinadas relaciones iónicas y mediante el apoyo de algunos gráficos, cuyo empleo es práctico y común en todos los estudios de hidrogeoquímica.

7.2.1 Composición de las aguas subterráneas.

Para la identificación de los componentes hidroquímicos de las aguas subterráneas, se utilizó la clasificación geoquímica por iones dominantes, aplicándose a las muestras de las 11 surgencias de aguas subterránea de la quebrada Pucamarca. De los cuales se obtuvo dos grupos generales: 10 surgencias bicarbonatada cálcica y 2 surgencias sulfatadas cálcicas.

Tabla 7.2 Resultado de valores de composición química y fisicoquímicos de laboratorio muestreadas en la zona de estudio.

Datos Generales			Coordenadas UTM		CATIONES					ANIONES			OTROS					
TIPO	NOMBRE	LUGAR	ESTE	NORTE	K	Na	Ca	Mg	Fe	Cl	SO4	HCO3	Turbinidad	pH.	C.E.	Dureza CaCO ₃	Sales Solubles	Temp
					(mg/l)	(mg/l)	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[NTU]		[μS/cm]	[ppm]	T.[ppm]	[°C]
Captación-1	Juquipuquio 1	Pucamarca	821655	8517038	1.5	9.2	115.5 2	18.4	0.13	26.2	142.5	258.4	0.69	7.2	572	377	606.2	12.23
Captación-2	Juquipuquio 2	Pucamarca	821585	8517089	1.9	10.3	117.8	20.7	0.13	29.9	164.2	251.6	1.38	6.9	592	390	636.1	12.44
Captación-3	Hatunchara 1	Pucamarca	821153	8516883	1.5	12.8	102.6	16.1	0.12	24.8	90.1	238.7	0.59	7.3	497	333	539.1	13.01
Captación-4	Hatunchara 2	Pucamarca	821143	8516876	1.5	8.17	107.9 2	18.4	0.12	30.9	98.5	265.2	1.45	7.2	531	356	570.8	13.07
Captación-5	Jarahuaraca 1	Pucamarca	820936	8516673	1.6	9.13	71.44	17.94	0.11	46.1	10.7	245.6	0.89	7.1	420	260.4	462.1	12.48
Captación-6	Jarahuaraca 2	Pucamarca	820896	8516637	2.1	9.76	140.6	16.1	0.15	110.6	222.3	204	0.43	7.4	710	468.6	754.9	13.03
Captación-9	Huecospuquio	Pucamarca	820892	8516032	3.4	4.1	62.32	8.28	0.1	20.6	102.8	140.4	0.49	7.48	343	205.8	404.2	12.36
manante-3	Chilcapuquio	Pucamarca	820271	8515722	2.5	14.6	197.6	24.84	0.16	28	536.1	204	0.6	7.42	1095	613.12	1123.5	13.58
Manante-6	Manante Perm	Pucamarca	820455	8516336	0.5	3.25	41.8	9.2	0.07	20.7	9.2	146.4	26.04	6.9	217	143.2	255.9	12.06
Manante-7	Manante Perm	Pucamarca	820172	8517283	0.5	3.25	54.6	7.36	0.09	13.2	20.6	132	0.15	7.6	285	172.5	321.7	12.01
riachuelo	Pucamarca	Pucamarca	820949	8516675	0.2	3.15	53.2	8.28	0.08	10.5	75.9	140.2	8.18	7.9	286	171.6	334.2	12.15

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos en laboratorio de la UNSAAC

- Elementos mayoritarios

Los resultados del análisis químico indican que los componentes mayoritarios son bicarbonatadas cálcicas de manera constante, luego están las sulfatadas cálcicas. Respecto a los cationes de sodio, potasio, calcio y magnesio, todos estos iones se encuentran con valores por encima de los 0.2 ppm y por debajo de los 197.6 ppm indicados en la tabla 7.2.

- Elementos minoritarios

Se tienen valores inferiores de los cationes de potasio, hierro y del anión carbonato, por tanto, corresponde a elementos minoritarios que deben tener valores entre 10 a 0.01 mg/L

Tabla 7.3 Cuadro de concentración iónica en porcentajes

NOMBRE	TIPO	ESTE	NORTE	K+Na %	Ca %	Mg %	Cl %	SO4 %	HCO3%
Juquipuquio 1	Captación-1	821654.81	8517038.15	5.66	74.55	19.79	9.29	37.38	53.33
Juquipuquio 2	Captación-2	821584.74	8517089.38	6.12	72.61	21.27	10.04	40.78	49.17
Hatunchara 1	Captación-3	821152.95	8516883.38	8.42	72.59	18.99	10.77	28.93	60.31
Hatunchara 2	Captación-4	821143.00	8516876.30	5.38	73.69	20.94	11.97	28.23	59.80
Jarahuaraca 1	Captación-5	820935.99	8516672.81	7.96	64.89	27.16	23.41	4.02	72.57
Jarahuaraca 2	Captación-6	820895.98	8516636.64	5.40	79.44	15.16	28.09	41.76	30.15
Huecospuquio	Captación-9	820892.00	8516032.00	6.52	76.53	16.95	11.55	42.63	45.82
Chilcapuquio	manante-3	820271.00	8515722.00	5.53	78.11	16.37	5.15	72.99	21.86
Manante Perm	Manante-6	820455.00	8516336.00	5.12	69.42	25.46	18.37	6.04	75.60
Manante Perm	Manante-7	820172.00	8517283.00	4.41	78.06	17.54	12.54	14.47	72.98
Pucamarca	riachuelo	820949.00	8516675.00	4.07	76.17	19.76	7.08	37.87	55.05

Fuente: Elaboración propia

7.2.2 Clasificación y representación de las aguas subterráneas

Para visualizar en forma especial la composición hidroquímica del agua subterránea, se utiliza la clasificación geoquímica por iones dominantes, donde se aplica para las 11 fuentes de aguas muestreadas.

Tabla 7.4 Clasificación geoquímica de las aguas por Iones dominantes del acuífero kárstico del sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco en mg/l.

NOMBRE	TIPO	ESTE	NORTE	CATIONES DOMINANTES	ANIONES DOMINANTES	DESCRIPCIÓN GENERAL
Juquipuquio 1	Captación-1	821655	8517038	Ca>Mg>Na	HCO3>SO4 >Ca	bicarbonatada cálcica
Juquipuquio 2	Captación-2	821585	8517089	Ca>Mg>Na	HCO3>SO4 >Ca	bicarbonatada cálcica
Hatunchara 1	Captación-3	821153	8516883	Ca>Mg>Na	HCO3>SO4 >Ca	bicarbonatada cálcica
Hatunchara 2	Captación-4	821143	8516876	Ca>Mg>Na	HCO3>SO4 >Ca	bicarbonatada cálcica
Jarahuaraca 1	Captación-5	820936	8516673	Ca>Mg>Na	HCO3>SO4 >Ca	bicarbonatada cálcica
Jarahuaraca 2	Captación-6	820896	8516637	Ca>Mg>Na	SO4>HCO3> Cl	sulfatada cálcica
Huecospuquio	Captación-9	820892	8516032	Ca>Mg>Na	HCO3>SO4>Cl	bicarbonatada cálcica
Chilcapuquio	manante-3	820271	8515722	Ca>Mg>Na	SO4>HCO3> Cl	sulfatada cálcica
Manante Perm	Manante-6	820455	8516336	Ca>Mg>Na	HCO3>Cl>SO4	bicarbonatada cálcica
Manante Perm	Manante-7	820172	8517283	Ca>Mg>Na	HCO3>SO4>Cl	bicarbonatada cálcica
Pucamarca	Riachuelo	820949	8516675	Ca>Mg>Na	HCO3>SO4>Cl	bicarbonatada cálcica

Fuente: Elaboración propia

7.2.3 Análisis de resultados

7.2.3.1 Diagrama de Stiff

Para la representación geoespacial de los iones mayoritarios, obtenidos a partir de los resultados químicos realizados; se emplea el diagrama de Stiff. En la ilustración siguiente se observan los diagramas de Stiff para cada fuente analizada.

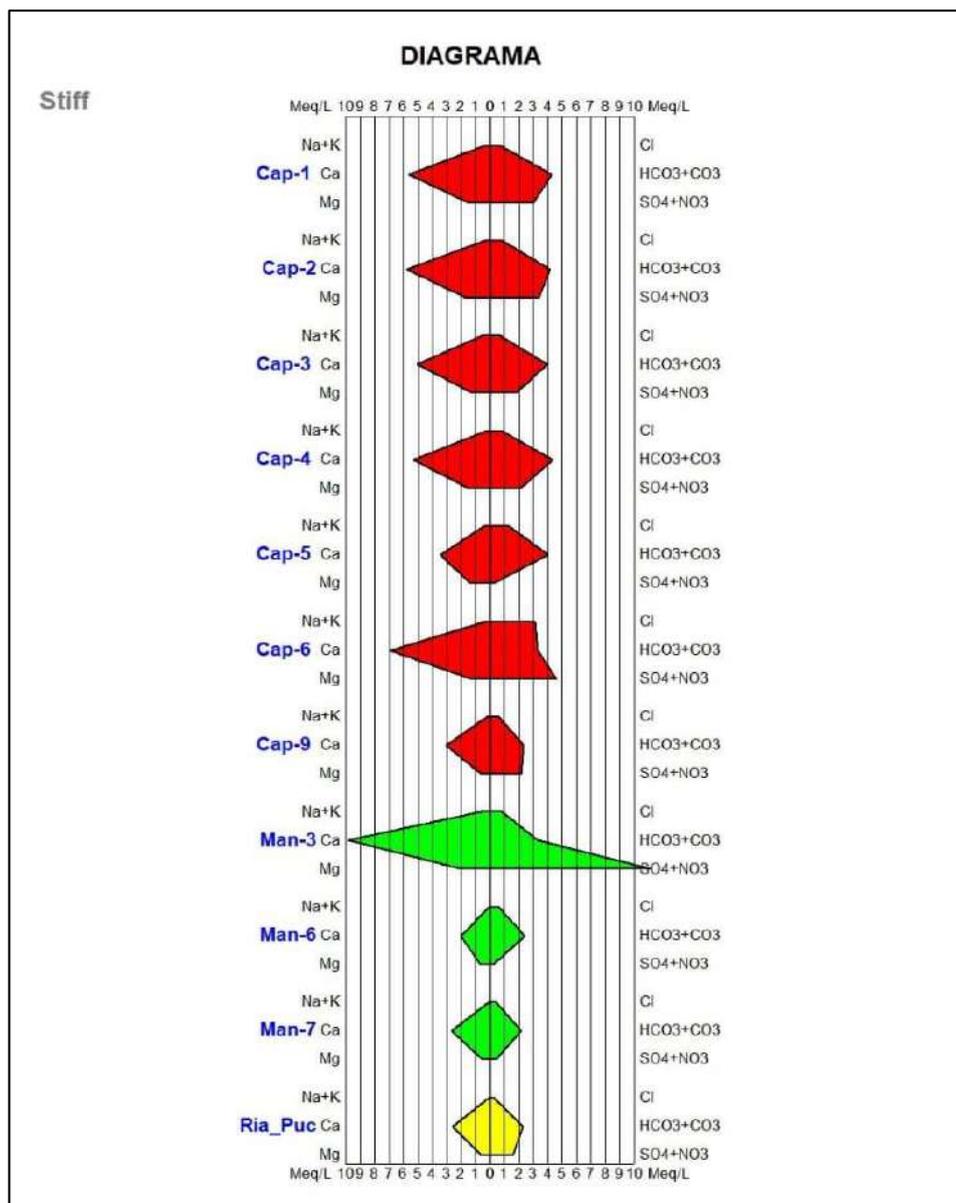


Ilustración 7.5 Representación en el diagrama de Stiff de las 11 muestras. Fuente: Elaboración propia

Según la ilustración del diagrama de Stiff, nos permite tener un mejor entendimiento en la relación y comparación de los iones de los resultados del análisis de las aguas.

De 0,0 a 3 meq/l (4 muestras)

De 0,0 a 5 meq/l (5 muestras)

De 0,0 a 10 meq/l (2 muestras)

7.2.3.2 Diagrama Schoeller Berkaloff

Según la ilustración del diagrama, nos permite conocer las tendencias lineales respecto a los cationes disueltos en las muestras de agua, lo cual se puede observar, que línea verde que representa al manante 3 de nombre Chilcapuquio tiende a tener una mayor concentración en composición sulfatada, la línea de color rojo que representa a la captación 6 de nombre Jarahuaraca tiende a tener también una composición sulfatada. En el primer caso se puede deducir, que el manante 3 por encontrarse en material cuaternario y por la descomposición de material orgánico en toda la parte aluvial, el agua tiende a tener una conmoción más sulfatada. El segundo caso está más asociado al tiempo de residencia del agua en los subsuelos y de profundidades intermedias, esto hace a que tenga una composición más sulfatada

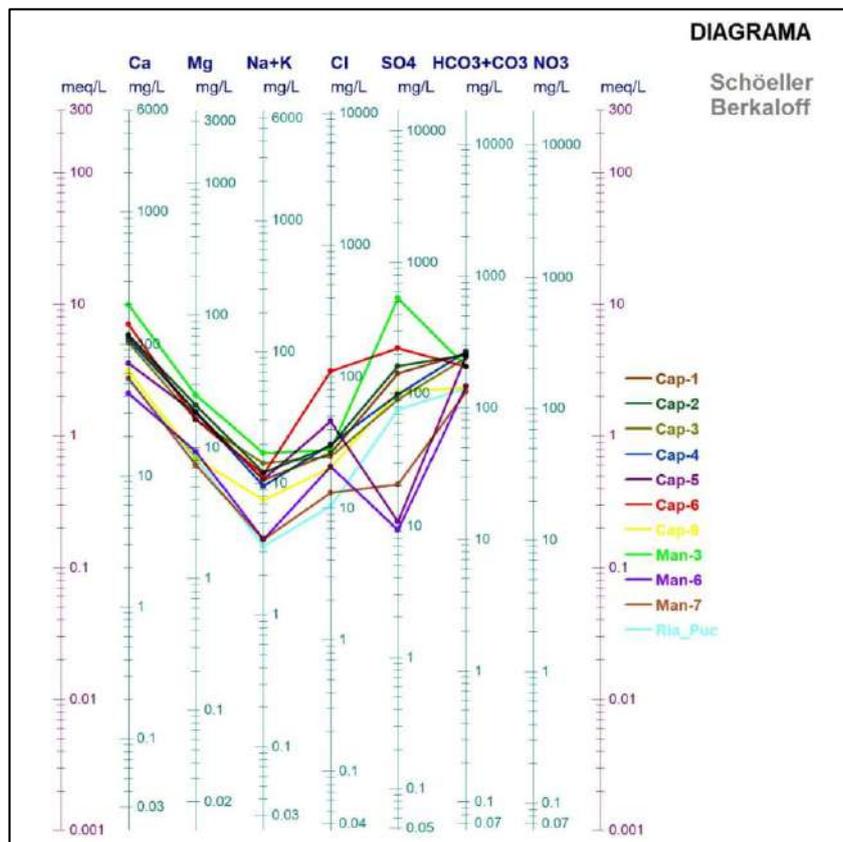


Ilustración 7.6 Representación de las 11 muestras en el diagrama de Schoeller Berkaloff.
Fuente: Elaboración propia.

7.2.3.3 Diagrama de Piper

Este diagrama triangular nos permite trabajar respecto a los valores porcentuales que tenga cada compuesto en un triángulo. Por lo tanto viendo la ilustración del diagrama, vemos el comportamiento de dos surgencias, el manante 3 (Chilcapuquio) y la captación 6 (Jarapuraca-2), con características diferentes a los demás, tienden a ser más sulfatadas en aniones y en cationes tiende a ser más bicarbonatadas por lo que su descripción sería de composición sulfatada cálcica.

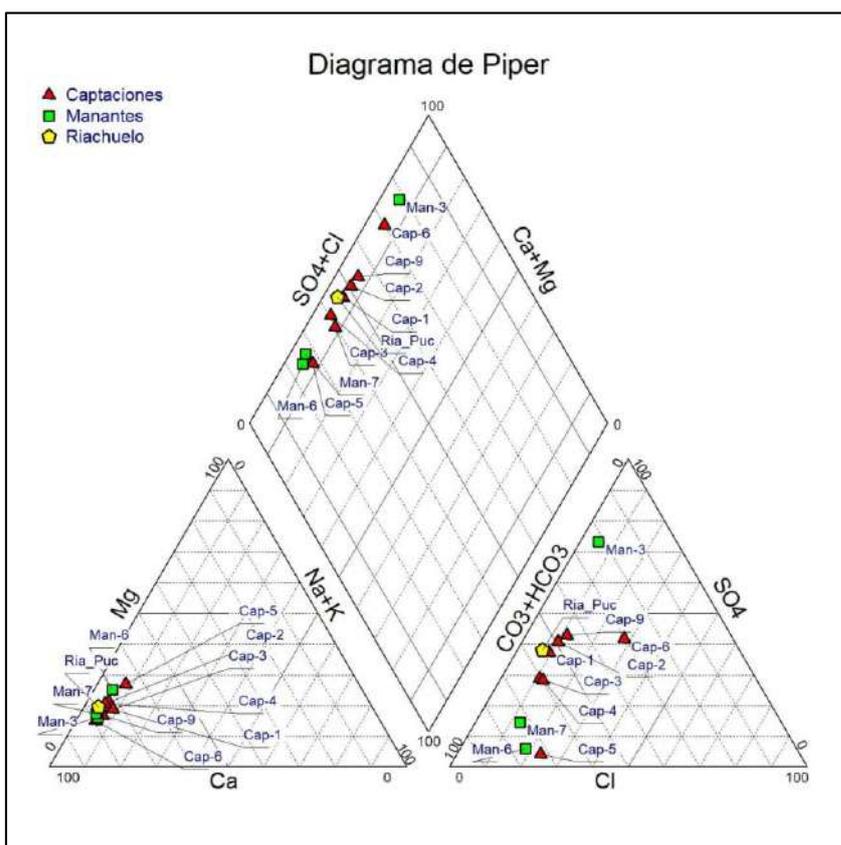


Ilustración 7.7 Representación de las muestras en el diagrama de Piper. Fuente: Elaboración propia.

7.2.4 Interpretación de los datos

Las aguas del acuífero kárstico del sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco son principalmente de tipo bicarbonatada cálcica, seguido del tipo sulfatada cálcica.

De las fuentes de agua analizadas, 5 son bicarbonatada cálcica y 3 son sulfatada cálcica. Los diagramas de color naranja nos indica que tiene menor contenido de elementos disueltos (< a 5 meq/l) respecto a los de más, los diagramas de color verde nos indican que tienen medianamente disueltos de elementos (< a 10 meq/l) y los de color azul tienen mayor contenido de elementos disueltos (<25), esta última nos indica que el agua ha tenido un mayor recorrido de flujo subterráneo y mayor permanecía en el acuífero.

7.2.4.1 Fuentes de agua bicarbonatadas cálcicas (9 fuentes)

Las aguas bicarbonatadas cálcicas ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$) de las fuentes Juquipuquio 1, Juquipuquio 2, Hatunchara 1, Hatunchara 2, Jarahuaraca 1, Huecospuquio y los manantes 6 y 7 representan la composición ideal de las rocas carbonatadas calizas, estas fuentes de agua corresponden a aguas dulces que proceden de la infiltración de las lluvias y que en su recorrido tuvieron contacto con CO_2 , donde esta unión formó una reacción de ácido carbónico donde estos en contacto con la caliza (CaCO_3) origina una meteorización química denominado Karstificación.

7.2.4.2 Fuentes de agua Sulfatadas cálcicas (2 fuentes)

Las aguas sulfatadas cálcicas (Ca-SO_4) de las fuentes, Jarahuaraca 2 y Chilcapuquio son de mayor recorrido de flujo subterránea, mayor permanecía en el acuífero y de media profundidad y también la predominancia sulfatada de estas aguas se debe al lavado de materiales sedimentarios y/o de la descomposición de sustancias orgánicas de cobertura vegetal.

CAPITULO VIII: HIDROGEOLOGIA

8.1 ASPECTOS GENERALES

El acuífero kárstico constituye un almacén por la circulación de sus aguas a través de las fisuras y conductos, para la recarga de esta estructura depende de factores de la precipitación e infiltración en el suelo o las rocas a través de las características estructurales para luego circular y alimentar a los manantes de la quebrada de Pucamarca, estructuralmente está asociado al sistema de fallas normales de Piuray, pero se deduce que es de menor aporte por la baja transmisibilidad de las formaciones Puquín y Quilque Chilca que se comportan como acuitardos y por el comportamiento estacional de los manantes.

Dentro de este acápite se desarrolla la caracterización de los manantes y captaciones, el comportamiento fisicoquímico, permeabilidades y la identificación de unidades hidrogeológicas según el grado de fracturamiento.

8.2 IDENTIFICACIÓN Y AFORO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA

Esta fase nos permitió identificar manantes y captaciones que comprenden a los lugares de Pucamarca, Ccamu y zonas cercanas a la quebrada de Pucamarca.

8.2.1 Identificación de manantes y Captaciones

Se realizó el inventario de manantes y captaciones de la zona de estudio y también de todo los lugares aledaños que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 8.1 Inventario de manantes y captaciones

Nro.	Datos			coordenadas UTM		Régimen	Uso
	TIPO	NOMBRE	LUGAR	ESTE	NORTE		
1	Manante-1	Tancarpujio	Huitapujio	819572	8515515	Permanente	Agricultura
2	Captación-1	Juquipuquio 1	Pucamarca	821655	8517038	Permanente	Humano
3	Captación-2	Juquipuquio 2	Pucamarca	821585	8517089	Permanente	Humano
4	Captación-3	Hatunchara 1	Pucamarca	821153	8516883	Permanente	Humano
5	Captación-4	Hatunchara 2	Pucamarca	821143	8516876	Permanente	Humano
6	Captación-5	Jarahuaraca 1	Pucamarca	820936	8516673	Permanente	Humano

7	Captación-6	Jarahuaraca 2	Pucamarca	820896	8516637	Permanente	Humano
8	Captación-7	Ccococho	Huitapujio	820113	8516092	Permanente	Humano
9	Captación-8	Chitapujio	Huitapujio	819580	8516061	Permanente	Humano
10	Captación-9	Huecospuquio	Pucamarca	820892	8516032	Permanente	Humano
11	manante-2	Jacaclluhuayco	Tambocancha	820432	8516858	Permanente	Agricultura
12	captacion-10	Ccotopupui	Ccamu	820101	8516570	Permanente	Agricultura
13	manante-3	Chilcapuquio	Pucamarca	820271	8515722	Permanente	
14	manante-4	Jarahuaraca	Pucamarca	820902	8516719	Permanente	
15	manante-5	Jarahuaraca	Pucamarca	820779	8516571	Permanente	
16	Manante-6	Manante	Pucamarca	820455	8516336	Permanente	
17	Manante Perm	Manante Perm		820172	8517283	Permanente	
18	Manante Temp	Manante Temp		820252	8517352	Temporal	
19	Manante Perm	Manante Perm		822180	8515616	Permanente	
20	Manante Perm	Manante Perm		821143	8517891	Permanente	
21	captación	captación		820730	8517865	Permanente	Humano
22	Manante Perm	Manante Perm		820525	8517401	Permanente	

Fuente: Elaboración propia

8.2.2 Aforo de manantes y captaciones

Se realizó la medida de caudales de cada manante por el método volumétrico en las 2 estaciones representativas del año, como son en épocas de lluvias y en épocas de estiaje para comparar y poder conocer el comportamiento de cada uno respecto a la descarga a través del tiempo monitoreado. Además realizar una comparación con datos tomados en el año 2013 por el estudio del centro de estudios Guamán Poma de Ayala.

Tabla 8.2 Caudales medidos con comparación de datos del año 2013.

Nro.	Datos			coordenadas UTM		Guamán Poma de Ayala	Datos obtenidos durante la investigación		Promedio
	TIPO	NOMBRE	LUGAR	ESTE	NORTE	(lt/s) 23/02/2013	(lt/s) 23/02/2018	(lt/s) 24/08/2019	
1	Manante-1	Tancarpujio	Ayllopongo	819572	8515515	3.5	0.1	0.13	0.115
2	Captación-1	Juquipuquio 1	Pucamarca	821655	8517038	0.48	0.51	0.075	0.2925
3	Captación-2	Juquipuquio 2	Pucamarca	821585	8517089		0.09	0.003	0.0465
4	Captación-3	Hatunchara 1	Pucamarca	821153	8516883	0.55	0.38	0.046	0.213
5	Captación-4	Hatunchara 2	Pucamarca	821143	8516876	0.33	0.15	0.033	0.0915
6	Captación-5	Jarahuaraca 1	Pucamarca	820936	8516673		0.72	0.11	0.415
7	Captación-6	Jarahuaraca 2	Pucamarca	820896	8516637	1.05	0.77	0.78	0.775
8	Captación-7	Ccococho	Huitapujio	820113	8516092		0.21	0.037	0.1235
9	Captación-8	Chitapujio	Huitapujio	819580	8516061	0.54	0.16	0.013	0.0865
10	Captación-9	Hucospuquio	Pucamarca	820892	8516032		0.29	0.024	0.157
11	Manante-2	Jacaclluhuayco	Tambocancha	820432	8516858	1.5	0.01	0.007	0.0085
12	Manante-3	Chilcapuquio	Pucamarca	820271	8515722	5	1.65	0.656	1.153
13	Manante-4	Jarahuaraca	Pucamarca	820902	8516719			0.011	0.011
14	Manante-6	Manante-7	Pucamarca	820455	8516336			0.011	0.011

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos mostrados en las Tabla 8.2, los manantes presentan una variación significativa directamente proporcional a las precipitaciones y más aun con los datos que fueron tomados en el año 2013, los cuales son típicos de acuíferos kársticos con un comportamiento estacional (PULIDO BOSH, 2014). Asimismo está caracterizado como manantiales episódicos o efímeros (MATEOS, 2016), quien define como aquellos que aparecen cuando el acuífero experimenta un notable ascenso del nivel piezométrico a causa de episodios lluviosos. (2016 pág. 76)

Sin embargo la captacion-6 Jarahuaraca 2 muestra una periodicidad constante en el año 2018, el cual adquiere un comportamiento Perenne o permanente (MATEOS, 2016), esta captación es aprovechado por la población durante todo el año ya que presenta un caudal significativo y que está dentro de la quebrada de Pucamarca, por encima de esta captación se encuentran afloramientos de calizas fracturadas intensamente con rellenos de permeabilidad considerable ($k= 1.93E-2$), pero a comparación de los datos que fueron medidos en 2013 de 1.05 lt/s la diferencia es grande, por tal motivo sería necesario realizar métodos de recarga artificial con aprovechamiento de aguas de lluvia en zonas de mayor grado de fracturamiento.

El Manante-1 presenta un caudal constante con una diferencia menor, pero se encuentra en la llanura lacustre muy cerca de la laguna y a menor altitud de la población, por ello solo es aprovechado para el riego de cultivos muy cercanos.

8.3 CLASIFICACION DE LOS MANANTES

Para poder determinar el tipo de cada manante es necesario conocer el comportamiento de descarga de cada uno en épocas de estiaje y épocas de avenidas, ya que existe una relación hidrodinámica entre la matriz de las rocas y los drenes.

Como menciona (MATEOS) “Esta situación fuerza el flujo hídrico desde los conductos hacia la matriz y provoca elevadas velocidades de circulación del agua en la red kárstica,

que se traducen en significativos aumentos de caudal en el manantial. Por el contrario, durante los periodos de estiaje, la situación se invierte y la matriz presenta niveles más elevados que los drenes. En esas condiciones es cuando se produce un flujo de agua lento desde la matriz hacia los conductos, por lo que la circulación por los drenes es menor y el manantial presenta los caudales más bajos” (Karst springs, 2016, pág. 76).

Un hidrograma de caudal respecto al tiempo indica el grado de modulación que presenta la circulación de las aguas frente a la entrada, en este caso las precipitaciones.

De acuerdo a la tabla de caudales se puede ver la variación respecto a los periodos lluviosos y de sequía, deduciéndose con un comportamiento mayoritario de los manantes de la zona directamente proporcional a la precipitación.

Tabla 8.3 Tabla de Caudales durante el año 2019 tomadas en 2 épocas

Nro.	Datos			coordenadas UTM		Datos obtenidos durante la investigación		Promedio	ΔQ
	TIPO	NOMBRE	LUGAR	ESTE	NORTE	23/02/2018	24/08/2019		
1	Manante-1	Tancarpujio	Ayllopongo	819572	8515515	0.1	0.13	0.115	-0.03
2	Captación-1	Juquipuquio 1	Pucamarca	821655	8517038	0.51	0.075	0.2925	0.44
3	Captación-2	Juquipuquio 2	Pucamarca	821585	8517089	0.09	0.003	0.0465	0.09
4	Captación-3	Hatunchara 1	Pucamarca	821153	8516883	0.38	0.046	0.213	0.33
5	Captación-4	Hatunchara 2	Pucamarca	821143	8516876	0.15	0.033	0.0915	0.12
6	Captación-5	Jarahuaraca 1	Pucamarca	820936	8516673	0.72	0.11	0.415	0.61
7	Captación-6	Jarahuaraca 2	Pucamarca	820896	8516637	0.77	0.78	0.775	-0.01
8	Captación-7	Ccococho	Huitapujio	820113	8516092	0.21	0.037	0.1235	0.17
9	Captación-8	Chitapujio	Huitapujio	819580	8516061	0.16	0.013	0.0865	0.15
10	Captación-9	Huecospuquio	Pucamarca	820892	8516032	0.29	0.024	0.157	0.27
11	Manante-2	Jacaelluhayco	Tambocancha	820432	8516858	0.01	0.007	0.0085	0.00
12	Manante-3	Chilcapuquio	Pucamarca	820271	8515722	1.65	0.656	1.153	0.99

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los aforos se calculó la diferencia de caudal para cada manante y la comparación respecto a las dos medidas en función a los meses de febrero y agosto del año 2019 como se muestra a continuación.

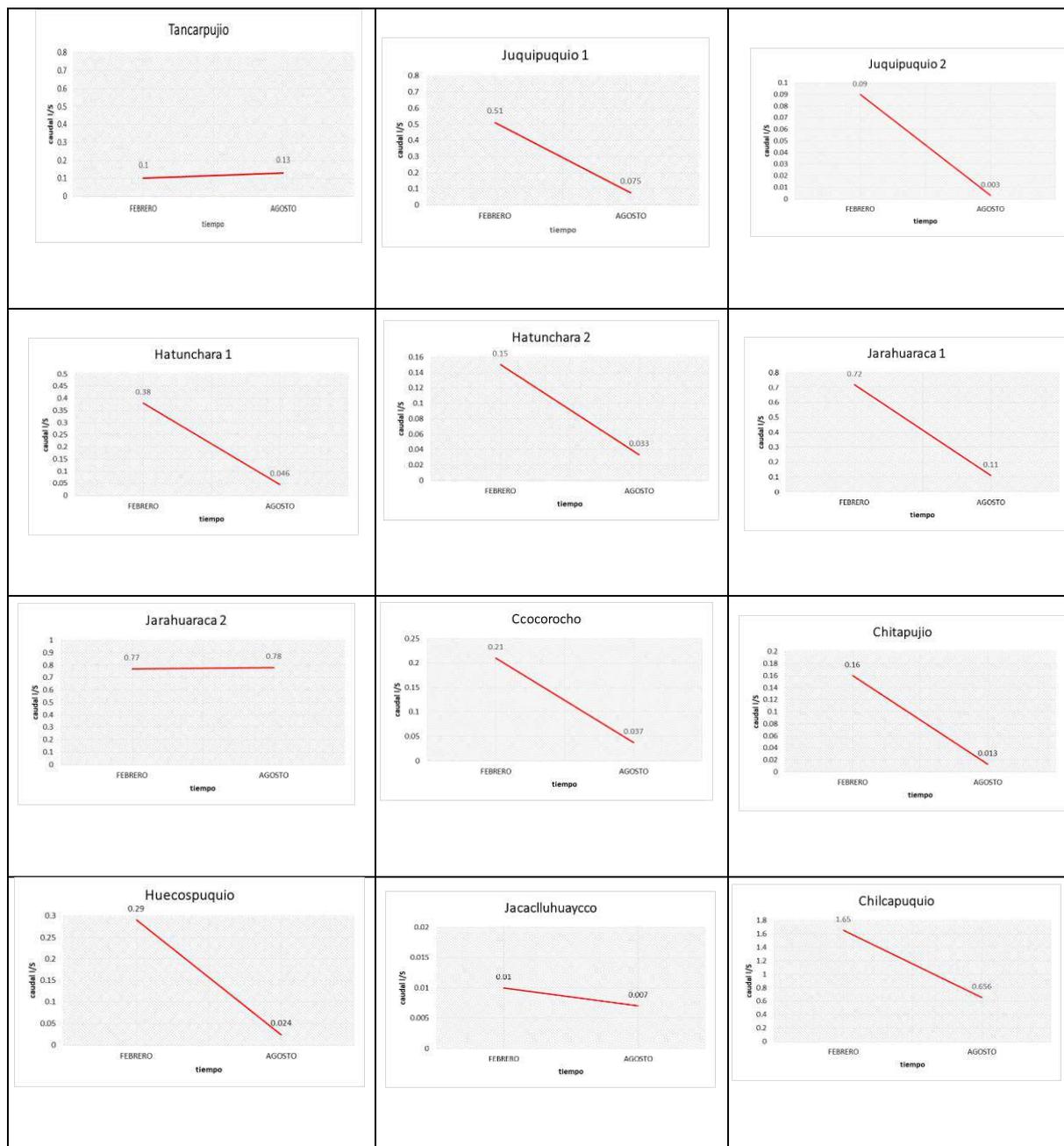


Ilustración 8.1 Comportamiento hidrométrico de los manantes y captaciones. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a estos resultados los manantes de la zona de estudio se clasifican en 2 tipos

Perennes o permanentes y Episódicas o efímeras (MATEOS, 2016):

- Perennes o permanentes : Los manantes Tancarpujio, Jacaclluhuaycco y la captación Jarahuaraca 2
- Episódicas o efímeras: Juquipuquio 1 y 2, Hatunchara 1 y 2, Jarahuaraca 1, Ccorocho, Chitapuquio, Huecospuquio y Chilcapuquio.

8.4 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

En medios kársticos son las fisuras y conductos por el que existe circulación de agua, para que pueda ocurrir la infiltración y recarga a través de estos conductos es necesario conocer cuan permeables son los materiales que están rellenos en las fracturas y también el grado de permeabilidad de los suelos de la Formación Maras en vista de que por debajo de estos depósitos se encuentran niveles delgados de calizas fracturadas por el que existe circulación de agua.

Para la obtención de estos datos se realizó en 2 etapas, la primera en depósitos de la Formación Maras, Puquín y Quilque Chilca estos ensayos de permeabilidad por el método Lefranc de carga constante en diversos puntos de la zona de investigación tal como se muestra en la siguiente *Tabla 8.4*. Se optó por este método ya que las fisuras que están en contacto con depósitos cuaternarios o afloran libremente están rellenos y presentan anchos mayores a los 5 cm.

Tabla 8.4 Cuadro de permeabilidades en formaciones Maras y depósitos sedimentarios

ENSAYO	ESTE	NORTE	K1	K2	PROMEDIO cm/s	K (m/día)	FORMACION
EP- 01	82070 3	8515676	1.93E-02		1.93E-02	16.6752	Deposito aluvial
EP- 03	82113 6	8516232	8.28E-04		8.28E-04	0.71539	Formación Quilque Chilca
EP- 04	820910	8516690	4.06E-03	5.31E-03	4.69E-03	4.05216	Formación Maras
EP- 05	821506	8517101	5.44E-04		5.44E-04	0.47001	Formación Maras
EP- 06	821774	8516982	1.54E-02		1.54E-02	13.3056	Formación Puquín
EP- 07	821569	8516976	2.32E-03		2.32E-03	2.00448	Formación Maras
EP- 08	821380	8517315	1.42E-02		1.42E-02	12.2688	Formación Puquín
EP- 10	82060 2	8516810	1.34E-02	3.32E-03	8.35E-03	7.2144	Formación Maras

Fuente: Elaboración propia

La segunda etapa se obtuvo los parámetros de permeabilidad sobre los afloramientos de roca caliza en zonas de fractura, es decir en los rellenos de las fracturas y espacios; de esta manera obtener cuan permeable son estos rellenos para que exista una infiltración eficiente.

Tabla 8.5 Cuadro de permeabilidades en la Formación Ayabacas (fracturas)

ENSAYO	ESTE	NORTE	K (cm/s)	K(m/día)	FORMACION
PK-01	821406	8517002	1.58E-02	13.64494	Ayabacas
PK-02	821677	8517105	1.41E-02	12.220502	Ayabacas
PK-03	821011	8516826	1.95E-02	16.885201	Ayabacas
PK-04	821010	8517087	1.56E-02	13.456011	Ayabacas
PK-05	820789	8516047	1.32E-02	11.433542	Ayabacas

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones directas mediante perforaciones son las más óptimas, pero también es posible estimar parámetros de permeabilidad de manera indirecta y poder comprobar con los datos de permeabilidad realizadas en campo, por lo que se ha procedido a la obtención de estos parámetros para el cuerpo AK3 *mediante* mediciones de las estructuras lineales del macizo rocoso, el mismo que también ha servido para la valoración del macizo rocoso indicada en anexos, de los cuales se ha utilizado las distancias de separación y las aberturas, así como el número de sistemas del fracturamiento existente en las estaciones micro tectónicas, que sirven para el cálculo establecido por Terzaghi y Peck.

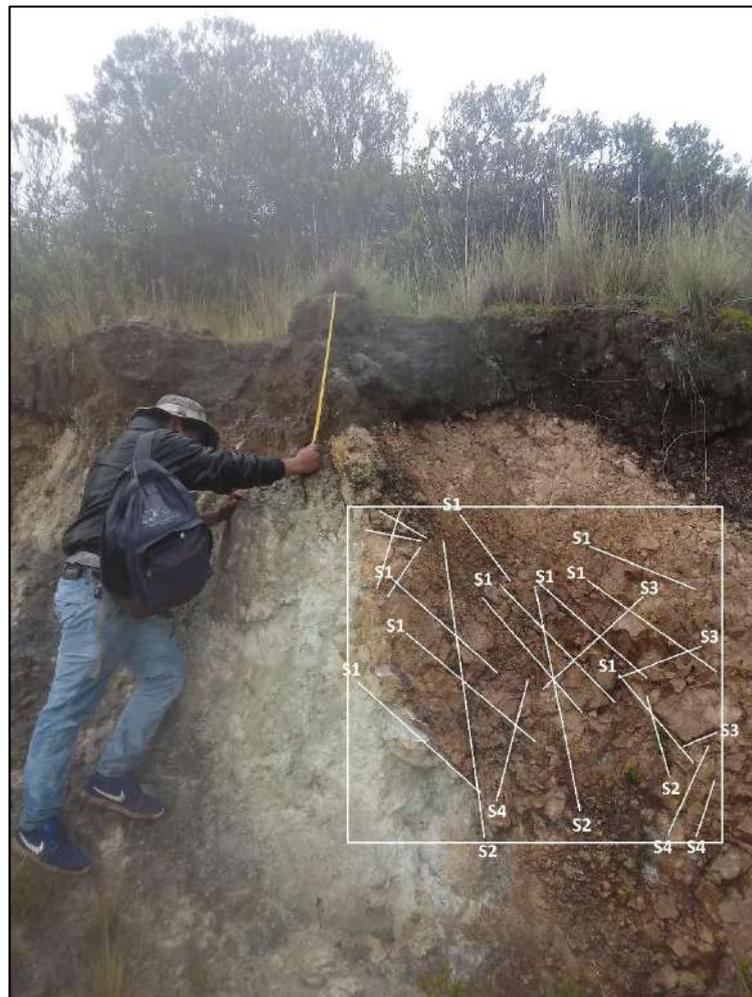


Ilustración 8.2 Mapeo de Fracturas

Tabla 8.6 Estimación de permeabilidad a partir de datos de valoración rocosa.

ZONA : 18 S		PUCAMARCA		Per. Kars. - 01	
COORDENADAS		821023	8517051	3920	
Permeabilidad del area para tres sistemas de discontinuidades					
Condición del macizo	sistemas a,b y e	Espaciam.	K Matriz	u	pa*seg
Abertura(m)	C 1	0.006000	1.00E-05	1.00E+03	1.00E-02
Abertura(m)	C 2	0.005000		981	m/s2
Abertura(m)	C 3	0.006000		1.00E-02	m2/s
Prom esp.		0.005667	12 v*b	1.08E-02	
Separacion(m)	S 1	0.040000	g*e3	0.000178506	
Separacion(m)	S 2	0.080000	k=	1.65E-02	cm/s
Separacion(m)	S 3	0.150000			
Prom Sep		0.090000			
			VALOR DE K		1.65E-02

De acuerdo a los resultados de permeabilidad se tiene la clasificación de unidades hidrogeológicas según Benítez (1963), de acuerdo a ello clasificar por un método comparativo de valores de permeabilidades según el cuadro indicado a continuación.

Valores (m/día)	Permeabilidad										
	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
	Acuicludo		Acuitardo		Acuifero pobre		Acuifero medio a bueno		Acuifero		
Tipo de Materiales	Arcilla compacta Granito		Limo arenoso Limo Arcilla Limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava Arena fina		Grava limpia		

Ilustración 8.3 Cuadro de clasificación de acuíferos según Benítez (1963).

Para cada formación geológica se obtuvo un cuadro con datos de permeabilidad promedio y su clasificación.

8.4.1 Acuífero kárstico

Se identificaron 8 cuerpos aflorantes de calizas a superficie, en donde 4 cuerpos se encuentran en la parte superior de la quebrada los cuales son en donde se produce la recarga natural hacia los manantes.

Según las pruebas de permeabilidad se encuentran dentro del rango de Acuíferos buenos a acuíferos con una permeabilidad promedio de 13.52 metros por día, los principales medios de circulación son por la porosidad secundaria de la karstificación y fracturas ya que las rocas presentan una matriz fina micrítica de naturaleza fangolítica que presenta porosidad muy baja y es difícil la circulación de agua a través de este medio.

8.4.2 Acuitardo Maras

Se caracterizó como acuitardo, ya que la composición de arcillas y limos son de baja permeabilidad en zonas cubriendo los afloramientos de calizas y en zonas presentan niveles de calizas por el que existe circulación de agua pero de poco aporte hidrogeológico.

8.4.3 Acuitardo Puquín

Se caracterizó como acuitardo a pesar de que presenta areniscas de grano grueso con buena permeabilidad están intercaladas de lutitas y en contacto con Quilque Chilca de permeabilidades bajas, las lutitas actúan como sello y límite del Acuífero Kárstico.

8.4.4 Acuitardo Quilque Chilca

Está compuesta en mayoría por lutitas meteorizadas y altamente fracturadas con bajas permeabilidades mayores a 10^{-4} cm/s que también limita al acuífero kárstico.

8.4.5 Acuíferos porosos

Los depósitos cuaternarios presentaron una permeabilidad promedio de 12 metros por día caracterizadas como acuíferos porosos no consolidados correspondientes a depósitos aluviales de profundidad aproximada de 20 a 30 metros.

8.4.6 Acuicludo Lacustre

Se encuentra limitada por la Laguna de Piuray, está compuesta por depósitos finos de aporte de la laguna los cuales presentan permeabilidades muy bajas.

Tabla 8.7 Clasificación de unidades hidrogeológicas

Formación Geológica	Clasificación Hidrogeológica
Formación Ayabacas	Acuífero kárstico
Formación Maras	Acuitardo a Acuífero pobre
Formación Puquín	Acuitardo
Formación Quilque Chilca	Acuitardo
Deposito aluvial	Acuífero

Fuente: Elaboración propia

8.5 ANALISIS DE FRACTURACION

Se caracterizó por imágenes aéreas para determinar el grado de fracturación de los cuerpos cartografiados.

Ilustración 8.4 Levantamiento de imágenes aéreas con drone



Fuente: Propia

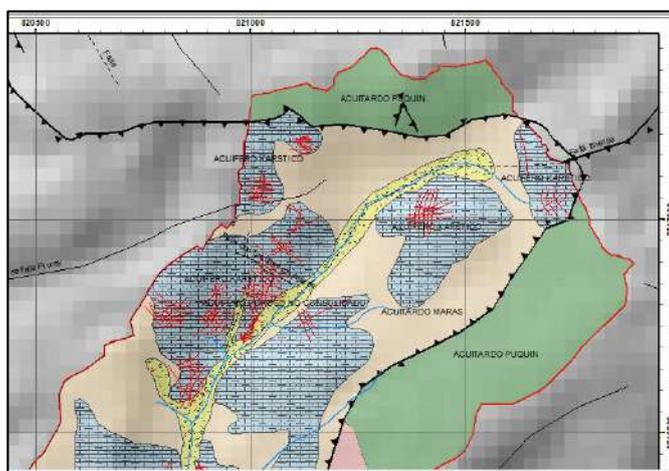


Ilustración 8.5 Fracturas kársticas en la parte alta de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el cuerpo litológico AK 1 que se encuentra por encima de la Captación Jarahuaraca 6 presenta mayor grado de fracturación.

8.6 BALANCE HIDROGEOLOGICO

El balance no es más que la aplicación del principio de conservación de materia (agua) que entra en un sistema, es decir evaluar la diferencia entre el total de entradas y el total de salidas del sistema que debe ser igual a la variación de agua en almacenamiento.

$$P - ETr - ES - I = \Delta S$$

Dónde: P = Precipitación
 ETr = Evapotranspiración real
 ES = Escorrentía superficial
 I = Infiltración

8.6.1 Clasificación de áreas por litología

En base a la caracterización geológica el área de estudio se clasifica en 6 tipos, cuerpos de calizas, la formación maras, Puquín, Quilque Chilca, Cuaternarios y Lacustres asimismo la superficie que ocupan.

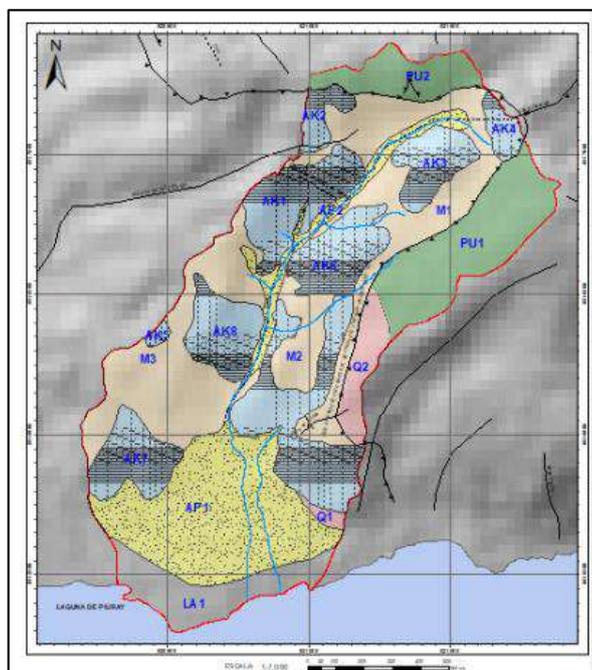


Ilustración 8.6 Unidades litológicas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.8 Clasificación de los polígonos litológicos.

CLASIFICACION	FORMACION
AK1	FORMACION AYABACAS
AK2	
AK3	

AK4	
AK5	
AK6	
AK7	
AK8	
M1	FORMACION MARAS
M2	
M3	
PU1	FORMACION PUQUIN
PU2	
Q1	FORMACION QUILQUE CHILCA
Q2	
AP1	CUATERNARIOS
AP2	
LA1	

Fuente: Elaboración propia

Los cuerpos de caliza de la Formación Ayabacas están dispersadas en 8 áreas, estos presentan mayor permeabilidad por su grado de fracturación y presencia de conductos a comparación de las otras unidades litológicas.

Para el cálculo de la precipitación se determinó las cotas en que se encuentran los polígonos y su respectiva área. Hallando la cota promedio se regionalizo con la ecuación de regresión para precipitaciones indicada en el capítulo de aspectos hidrológicos, de esta manera realizando los mismos procedimientos para temperatura y evapotranspiración potencial.

Tabla 8.9 Valores de precipitación, ETP, ETR en base a las cotas.

CLASIF	AREA	COTA		COTA PROMEDIO	P (mm)	ETP	ETR
AK1	92004.8506	3805	3920	3862.5	884.0964372	557.662078	453.65
AK2	24937.346	3920	3970	3945	907.3242181	545.078967	441.06
AK3	55133.9938	3900	3975	3937.5	905.2372305	546.240188	442.22
AK4	20656.3334	3965	4005	3985	918.3747244	538.787605	434.78
AK5	4747.74335	3810	3840	3825	873.3341534	563.301956	459.18
AK6	218245.106	3720	3900	3810	868.9919199	565.553324	461.36
AK7	64959.2667	3720	3775	3747.5	850.660731	574.939345	470.15
AK8	65481.4468	3755	3855	3805	867.539679	566.303577	462.08
M1	211115.91	3760	3965	3862.5	884.0964372	566.303577	453.65
M2	53258.1002	3785	3840	3812.5	869.717131	565.178174	461.00

M3	208561.815	3735	3885	3810	868.9919199	557.662078	461.36
PU1	172118.877	3870	4015	3942.5	906.6290893	545.466577	441.45
PU2	71251.6347	3960	4010	3985	918.3747244	538.787605	434.78
Q1	8121.74311	3710	3725	3717.5	841.7199688	579.462029	474.20
Q2	46784.4965	3785	3870	3827.5	874.0557618	562.926578	458.82
AP1	288645.537	3695	3750	3722.5	843.2166793	578.707006	473.53
AP2	59487.6942	3755	3945	3850	880.5236253	559.544749	455.51
LA1	96233.9474	3695	3705	3700	836.4603925	582.10921	476.50

Fuente: Elaboración propia

8.6.2 Infiltración efectiva

Considerando los datos de balance hídrico se halló la infiltración efectiva bruta por cada área delimitada para zonas del acuífero kárstico en la siguiente tabla:

Tabla 8.10 Calculo de infiltración efectiva o recarga aproximada por cada área.

CLASIF	AREA	P (mm)	ETP	ETR	EXEDENTE HIDRICO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	Ex. Hídrico por área	ESCORRENTIA	INFILTRACION EFECTIVA * AREA
AK1	92004.85	884.10	557.66	453.65	430.45	0.49	39603123.11	19281841.42	20321281.70
AK2	24937.35	907.32	545.08	441.06	466.27	0.51	11627460.91	5975263.23	5652197.68
AK3	55133.99	905.24	546.24	442.22	463.01	0.51	25527829.91	13057076.08	12470753.84
AK4	20656.33	918.37	538.79	434.78	483.59	0.53	9989296.62	5260132.23	4729164.40
AK5	4747.74	873.33	563.30	459.18	414.15	0.47	1966276.42	932441.22	1033835.20
AK6	218245.11	868.99	565.55	461.36	407.63	0.47	88963794.40	41731725.66	47232068.74
AK7	64959.27	850.66	574.94	470.15	380.51	0.45	24717555.67	11056394.94	13661160.73
AK8	65481.45	867.54	566.30	462.08	405.46	0.47	26550138.71	12408691.14	14141447.56
								VOLUMEN LITROS	119241909.84
								VOLUMEN m3	119241.91

Fuente: Elaboración propia.

8.6.3 Calculo de capacidad de flujo de caudal en cada unidad de área clasificada.

Para poder conocer la capacidad de flujo en cada unidad clasificada es necesario conocer su permeabilidad y el gradiente hidráulico respecto a los flujos de agua y la diferencia de alturas.

Para la zona de estudio se tomó como referencia las captaciones de Juquiquio y Chilcapuquio

en dirección de la Quebrada Pucamarca hacia la Laguna con un resultado de 0.133 por el que circulan aguas subterráneas comprobadas con la prospección geofísica.

Para la capacidad de flujo por unidad de área se tomó solo en consideración los cuerpos correspondientes al acuífero kárstico.

Tabla 8.11 Capacidad de flujo de agua por unidad de área.

ACUIFERO	CLASIF	AREA	K m/s	k (cm/s)	gradiente hidráulico	caudal de flujo
Kárstico	AK1	92004.8506	1.95E-04	1.95E-02	0.133	2.39
	AK2	24937.346	1.56E-04	1.56E-02	0.133	0.52
	AK3	55133.9938	1.58E-04	1.58E-02	0.133	1.16
	AK4	20656.3334	1.41E-04	1.41E-02	0.133	0.39
	AK5	4747.74335	1.57E-04	1.57E-02	0.133	0.10
	AK6	218245.106	1.32E-04	1.32E-02	0.133	3.84
	AK7	64959.2667	1.57E-04	1.57E-02	0.133	1.35
	AK8	65481.4468	1.57E-04	1.57E-02	0.133	1.36
Capacidad de flujo total (m3/s)						11.11
Capacidad de flujo Anual (m3)						350395753

Fuente: Elaboración propia

De los datos se tiene valores analíticos aproximados de capacidad de flujo anual para el acuífero kárstico, sin embargo por la particularidad de ser una roca de comportamiento heterogéneo es difícil modelizar su comportamiento anual.

8.7 SISTEMA HIDROGEOLOGICO

El sistema hidrogeológico para la zona de estudio está relacionada directamente a la precipitación mediante el ciclo hidrológico, en episodios de precipitación se recarga el acuífero para la posterior circulación a través de las fisuras y conductos kársticos y descarga en los manantes. Los manantes son de carácter estacional, debido a ello la variación en proporción directa a la precipitación.

8.8 REGIMENES HIDROGEOLOGICOS

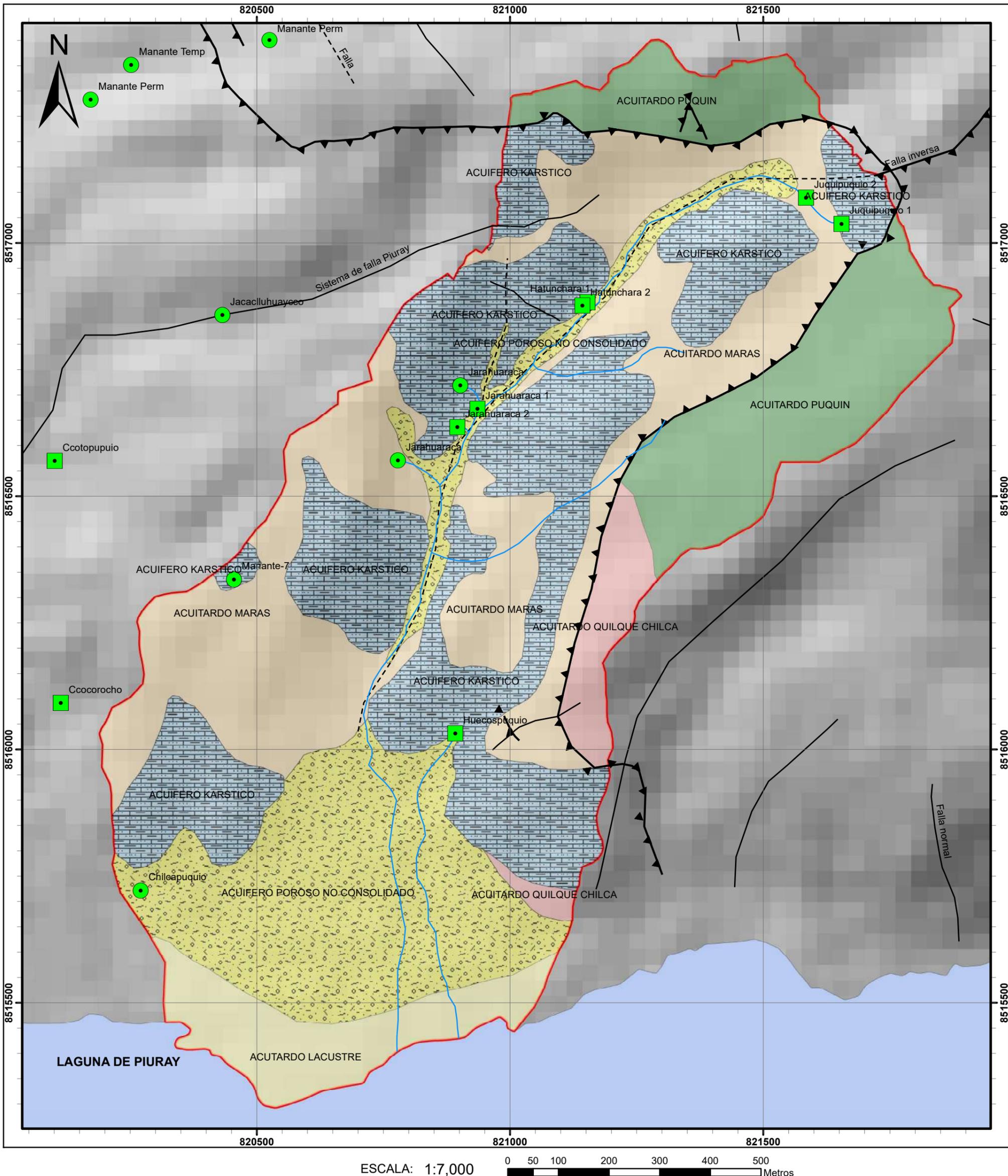
El régimen de las aguas subterráneas de la zona de estudio empieza desde la zona de recarga hasta la zona donde existe la descarga (manantes); existen factores como la cantidad y ritmo de precipitación, permeabilidad, grado de fracturamiento de las rocas, pendientes que condicionan la circulación.

La precipitación media anual para la zona de estudio es de 880.08 mm, y las permeabilidades están entre $10e-1$ m/día entre los espacios de las fracturas; estos dos serían los factores principales que controlan con un flujo a través de las fracturas y conductos kársticos de manera heterogénea hasta llegar a los manantes.

8.9 SECCIONES HIDROGEOLOGICAS

Para la elaboración de la sección hidrogeológica se tiene como información antecedente a los datos de geología, de permeabilidad, geofísica y el aforo de manantes realizados durante la investigación.

De las secciones geológicas se tomó como modelos a las sección A-A' y sección B-B' las que cortan longitudinal y transversalmente al acuífero kárstico delimitado como se observa a continuación.



LEYENDA

- ACUIFERO KARSTICO
- ACUIFERO POROSO NO CONSOLIDADO
- ACUITARDO MARAS
- ACUITARDO PUQUIN
- ACUITARDO QUILQUE CHILCA
- ACUITARDO LACUSTRE

SIMBOLOGIA

TIPODE

- CAPTACION
- MANANTE
- DRENAJE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

PLANO: UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

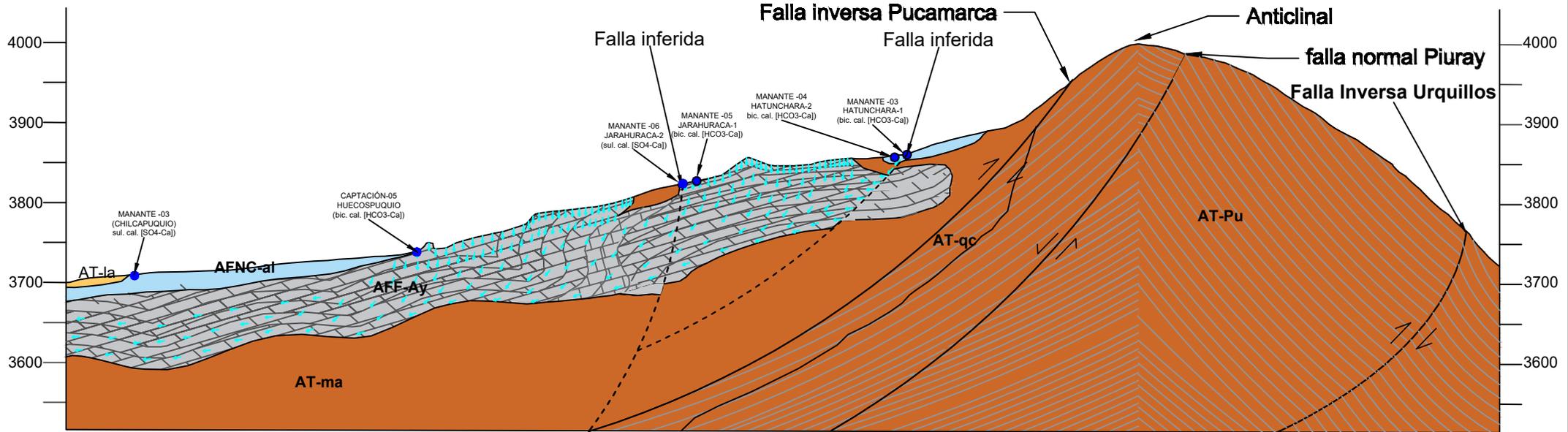
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"

DEPARTAMENTO: CUSCO	DATUM: 19 S WGS 84	LAMINA:
PROVINCIA: URUBAMBA	ELABORADO: Bch. Carlos William Huaman Suco Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela	P-11
DISTRITO: CHINCHERO	Asesor: Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana	
COMUNIDAD: CCAMU - PUCAMARCA	FECHA: Enero 2020	ESCALA: 1:7000

SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA

A
SW

A'
NE



LEYENDA

— Fallas geológicas

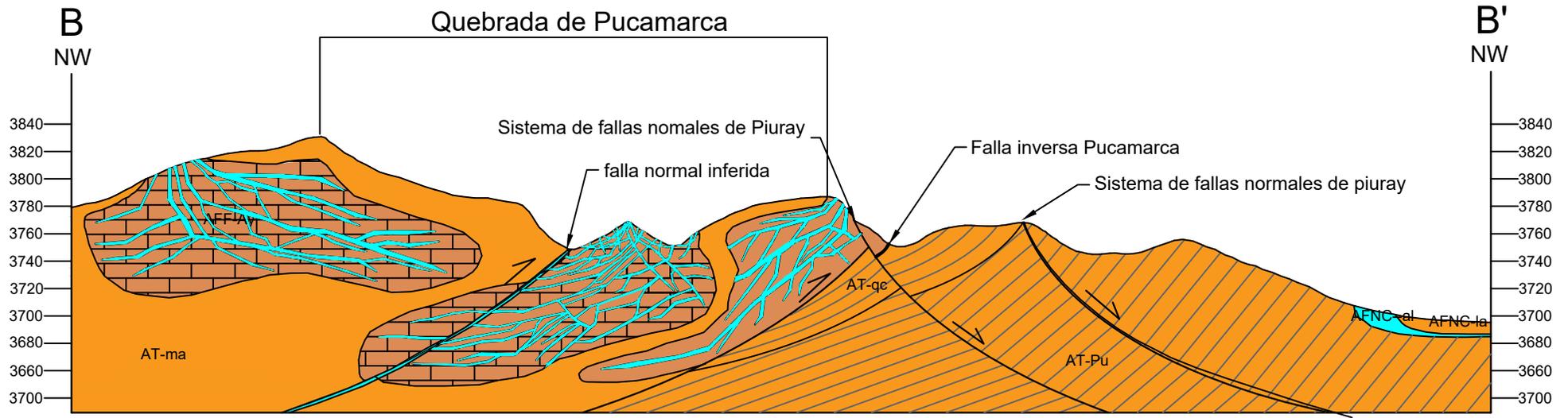
LITOLOGÍA

- AT-la Acuífudo lacustre
- AFNC-al Acuífero no Consolidado aluvial
- AT-qc Acuitardo de quilque-chilqua
- AT-Pu Acuitardo de Puquin
- AFF-Ay Acuífero Kárstico Fisurado de ayabacas
- AT-ma Acuitardo de maras

Ev 1/ 2 000

Eh 1/ 10 000

SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA



LEYENDA

— falla geológica

Litología

AFNC-la	Acuitardo no consolidado lacustre
AFNC-al	Acuifero no Consolidado aluvial
AT-qc	Acuitardo de quilque- chilqua
AT-Pu	Acuitardo de Puquin
AFFI-AY	Acuifero Kárstico Fisurado de ayabacas
AT-ma	Acuitardo de maras

Ev 1/2 000
Eh 1/10 000

Fuente: Elaboración Propia

8.10 MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL

Para la obtención del modelo hidrogeológico conceptual del acuífero kárstico se parte en base a la información geológica, hidrológica, hidroquímica, hidrogeológica y geofísica.

El acuífero kárstico ocupa un área de 28.5 % y el acuitardo maras un área de 29.4 % conformando la mayor parte de la Quebrada o microcuenca de Pucamarca, de esta manera son componentes del acuífero kárstico.

El acuífero kárstico está delimitado por la falla inversa Pucamarca en donde existe un contacto litológico entre las formaciones Maras y Ayabacas sobreponiéndose a las formaciones sedimentarias detríticas de las formaciones Puquín y Quilque Chilca.

Presenta una precipitación de 880.8 mm, una evapotranspiración de 425.43 mm con un escurrimiento superficial de 206.53 mm y una infiltración de 218.9 mm al año con direcciones de flujo por la Quebrada de Pucamarca hacia la Laguna de Piuray.

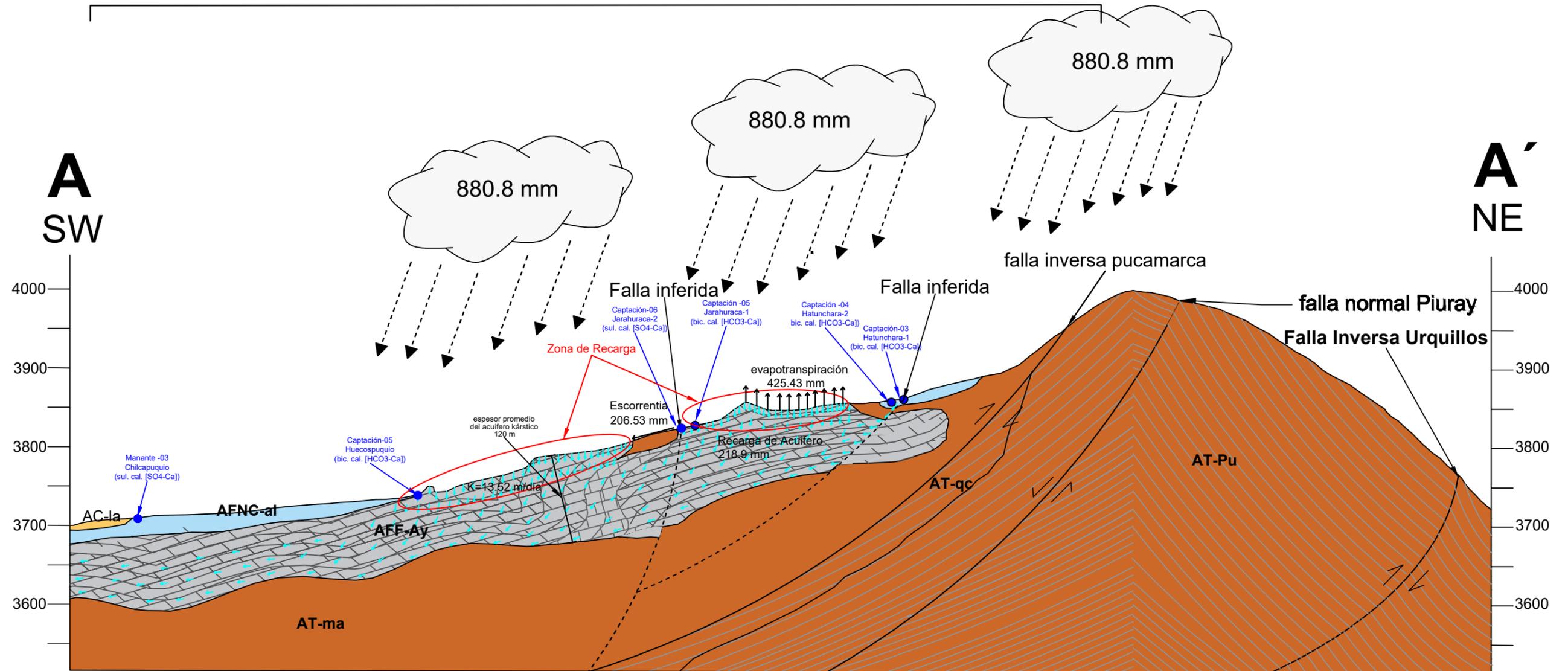
La potencia del acuífero kárstico se estima que tiene una potencia máxima de 120 metros controladas por fallas normales con un alto grado de fracturamiento por el que existe la circulación de las aguas subterráneas con surgencias de manantes.

Existe una descarga promedio en base a aforos en épocas de avenida (febrero) y estiaje (agostos) es de 3.384 litros por segundo; el nivel freático en la zona del acuífero no consolidado de la unidad litológica aluvial de Pucamarca es de 5 metros aproximadamente.

Las zonas de recarga natural se produce en la parte alta de la quebrada, de esta manera también las zonas de recarga artificial se sitúa en zonas de mayor fracturamiento de la zona alta.

MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO

Sección Longitudinal A-A' de la Quebrada Pucamarca



LEYENDA

- Fallas geológicas
- LITOLÓGÍA**
- AC-la Acuícludo lacustre
 - AFNC-al Acuífero no Consolidado aluvial
 - AT-qa Acuitardo de quilque- chilqua
 - AT-Pu Acuitardo de Puquin
 - AFF-Ay Acuífero Kárstico Fisurado de ayabacas
 - AT-ma Acuitardo de maras

Fuente: elaboración propia

Ev 1/ 2 000

Eh 1/ 10 000

8.11 IDENTIFICACION DE ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL

En los últimos años la recarga artificial viene cobrando mayor protagonismo debido a la preocupación frente a la escasez de los recursos hídricos; en la Microcuenca de Piuray y zonas altas que alimentan a la Laguna de Piuray y también las galerías filtrantes de Salkantay en Cusco donde se encuentra el acuífero fisurado Soncco se viene realizando estos métodos cobrando efectividad ya que estas rocas presentan buzamientos uniformes y la característica de la composición intergranular de las rocas sedimentarias detríticas que presentan un régimen de circulación uniforme de las aguas a través de estas y también por el bajo costo a comparación de otras obras hidráulicas que se ejecutan para este objetivo.

Sin embargo la caliza es casi impermeable por lo que no tiene la capacidad de transmitir agua intergranularmente, en la zona de estudio estas calizas se encuentran fisuradas y karstificadas rellenos superficialmente por suelo y en otras zonas están cubiertas por una capa edáfica de aproximadamente 30 a 40 centímetros, aun así existe la recarga natural de estos acuíferos para la existencia de manantes; para una mejor infiltración es necesario alcanzar la menor distancia hacia las fracturas y conductos disminuyendo la altura de sección que atraviesa una gota de agua hasta llegar a ellas de esta manera adquiriendo una forma de recarga directa con la precipitación.

Se realizó el levantamiento de perfiles en cortes de carretera y en Canteras antiguas en donde se observa el espesor de cubierta edáfica, depósitos Maras o suelos orgánicos.



Ilustración 8.7 perfil en un corte de antigua cantera en el cuerpo kárstico 3 AK3. Fuente: Elaboración propia.

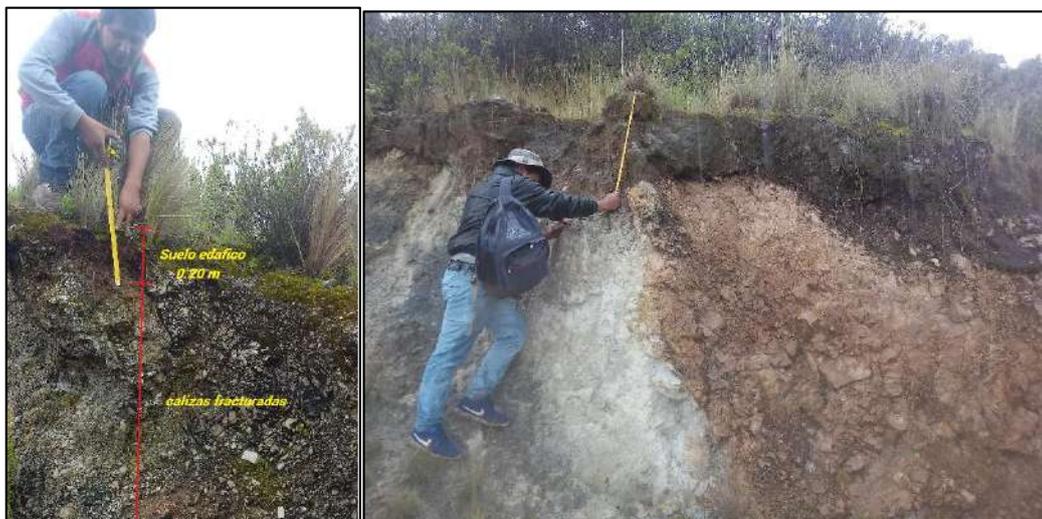


Ilustración 8.8 Perfiles en el cuerpo AK2 con variaciones de 0.2 a 0.5 m máximo de suelos cuaternarios. Fuente: Elaboración propia.

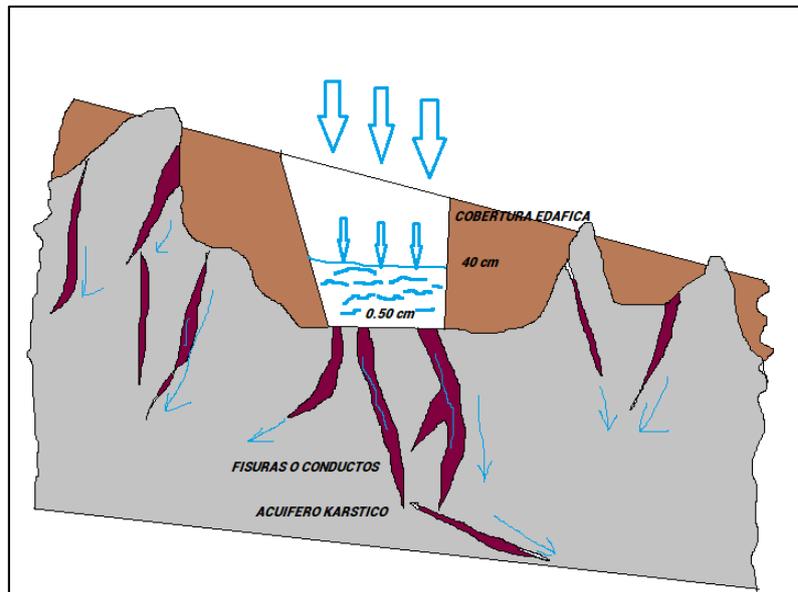


Ilustración 8.9 Esquema de una zanja de infiltración. Fuente: Propia.

Como objetivo de la presente investigación para la identificación de zonas de recarga artificial se justifica con las profundidades de espesor de los suelos cuaternarios y depósitos maras que los métodos de zanjas de infiltración serán óptimas y económicas.

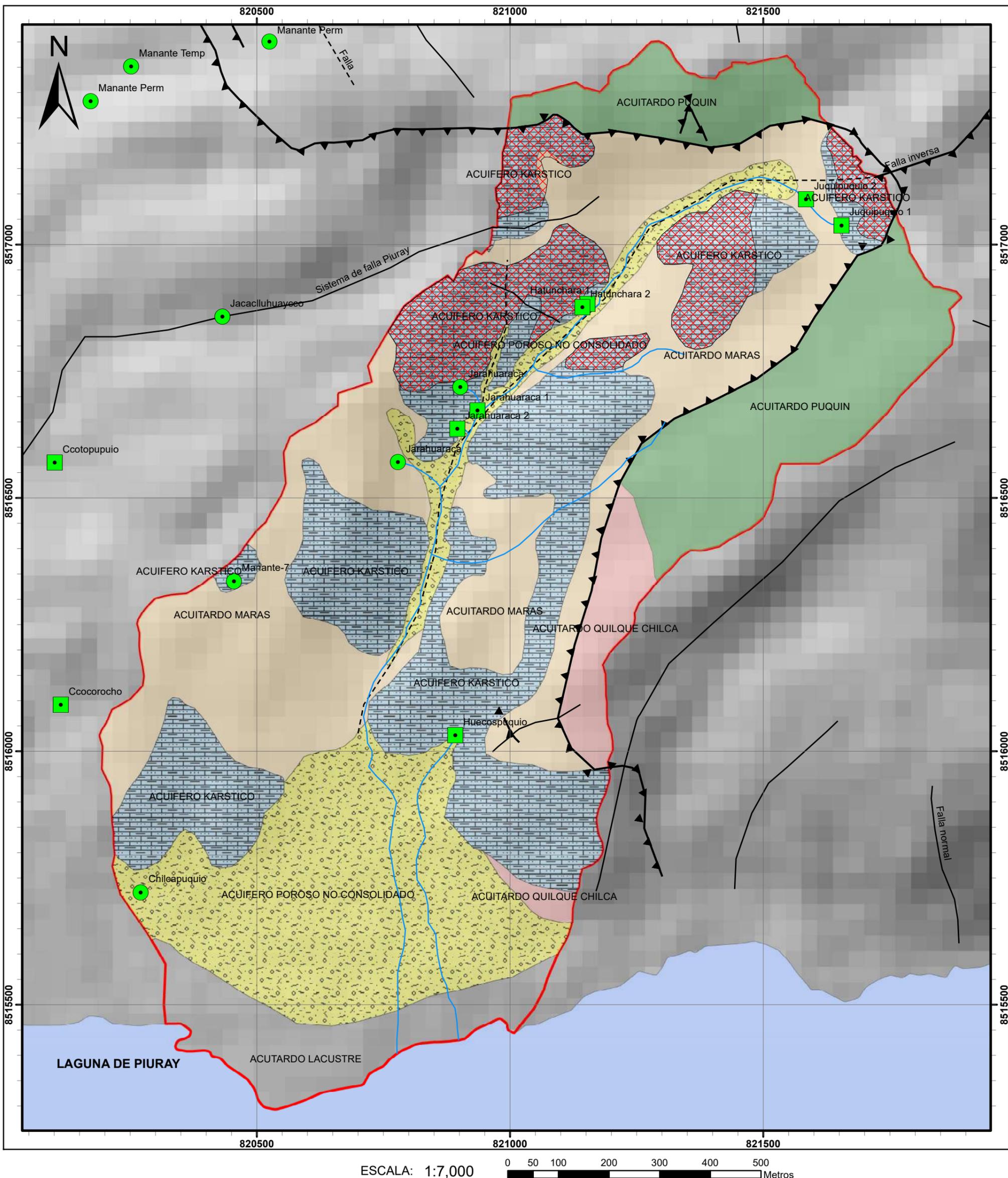
Por lo tanto para la identificación espacial de zonas de recarga se usó los mapas de pendientes, geológico, hidrogeológico, análisis de fracturación, mapa hidrogeológico e imagen satelital, de esta manera poder delimitar los polígonos en donde es recomendable realizar zanjas de infiltración.

Finalmente con la superposición de mapas se identificó 5 zonas de recarga artificial.

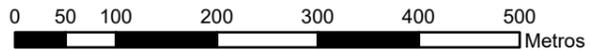
Tabla 8.12 Áreas y perímetros de las de recarga artificial

ZONA DE RECARGA ARTIFICIAL	PERIMETRO	AREA
ZONA 1	1430.74	67520.6
ZONA 2	911.921	40004.7
ZONA 3	716.979	21427.8
ZONA 4	621.19	13123.5
ZONA 5	400.796	8061.01
TOTAL DE AREA (m2)		150137.61
TOTAL DE AREA (Km2)		0.15013761

Fuente: Elaboración propia



ESCALA: 1:7,000



LEYENDA

- ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL
- NOMBRE**
- ACUIFERO KARSTICO
- ACUIFERO POROSO NO CONSOLIDADO
- ACUITARDO MARAS
- ACUITARDO PUQUIN
- ACUITARDO QUILQUE CHILCA

SIMBOLOGIA

TIPODE

- CAPTACION
- MANANTE
- DRENAJE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PLANO: ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL		
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"		
DEPARTAMENTO: CUSCO	DATUM: 19 S WGS 84	LAMINA:
PROVINCIA: URUBAMBA	ELABORADO: Bch. Carlos William Huaman Succo Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela	
DISTRITO: CHINCHERO	Asesor: Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana	
COMUNIDAD: CCAMU - PUCAMARCA	FECHA: Enero 2020	ESCALA: 1:7000

P-12

8.12 OFERTA Y DEMANDA HIDRICA PARA CONSUMO HUMANO

La demanda hídrica poblacional de la zona de estudio se realizó para consumo humano, donde no presenta déficit en la actualidad, la preocupación viene dada por el crecimiento poblacional e integración de personas foráneas a raíz de la construcción del aeropuerto internacional de Chinchero.

8.12.1 Calculo de la oferta y demanda de agua para uso consumo humano.

Según la OMS establece que para zonas rurales a urbanas de clima frío una persona consume 120 litros por día, por lo tanto para la localidad de Pucamarca se hizo en base a 150 familias y un total de 600 personas, dato extraído del último padrón comunal de Pucamarca.

Tabla 8.13 Demanda poblacional

PERSONA	M3/AÑO	L/S
1.00	43.8	0.00138889
600	26280	0.83333333

Tabla 8.14 Oferta de los manantes

MANANTE O CAPTACION	ESTIAJE	PLUVIOSIDAD
Captación-1	0.075	0.2925
Captación-2	0.003	0.0465
Captación-3	0.046	0.213
Captación-4	0.033	0.0915
Captación-5	0.11	0.415
Captación-6	0.78	0.775
Captación-9	0.024	0.157
Q (l/s)	1.071	1.9905
m ³ /año	33312.384	62772.408

De las tablas anteriores se tiene que los manantes presentan una oferta hídrica de 1.99 l/s (62772.408 m³/año) en épocas de pluviosidad y de 1.071 l/s (33312.384 m³/año) con una disminución del 46.19 % de caudal para una demanda de consumo humano de 0.83 l/s (26280 m³/año). Sin embargo la población debido a que los manantes estacionales o episódicos presentan caudales nulos en algunos años y/o meses, solo consume de la captación 6 Jarahuaraca 2 de caudal permanente que presenta una oferta hídrica de 0.8 l/s en el cual existe un déficit de 0.03 l/s en épocas de estiaje.

Conclusiones

1. La zona de estudio está conformado por formaciones Maras, Ayabacas, Puquín, Quilque Chilca y depósitos cuaternarios con un mayor área de las Formaciones Maras y Ayabacas de 57.9% y está delimitado por la falla inversa de Pucamarca, controlado por el sistema de fallas Piuray de dirección SE – NW, una falla en la quebrada de Pucamarca y alto grado de fracturamiento.
2. Se realizó la caracterización hidrogeoquímica con valores fisicoquímicos admisibles, están conformado por 2 manantes de composición sulfatada cálcica (Ca-SO₄) que indica mayor recorrido de flujo subterráneo y mayor permanencia en el acuífero, los 9 manantes restantes son de composición bicarbonatadas cálcicas (HCO₃-Ca) de corto recorrido que tuvieron contacto con el CO₂ y producen la karstificación.
3. Con los ensayos de tomografía eléctrica por los métodos de Wenner y Wenner Schlumberger se determinó una zona de circulación profunda hacia la laguna por debajo de los 20 a 30 metros atravesando el cono aluvial de Pucamarca con dirección hacia la laguna de Piuray el cual puede ser aprovechado para el bombeo de aguas subterráneas a través de pozos en épocas de estiaje.
4. La zona de estudio presenta una precipitación de 880.8 mm, una evapotranspiración de 425.43 mm con un escurrimiento superficial de 206.53 mm y una infiltración de 218.9 mm al año con direcciones de flujo por la Quebrada de Pucamarca hacia la Laguna de Piuray, según el comportamiento hidrodinámico de los manantes son de carácter estacional o episódicos relacionados directamente a periodos lluviosos excepto la captación 6 Jarahuaraca 2 que es perenne o permanentes el cual presenta circulación profunda y posible relación al sistema de fallas Qoricocha-Chincho-Piuray.

5. En base a los mapas de pendientes, geológico, hidrogeológico, análisis de fracturación e imagen satelital se identificaron 5 zonas de recarga artificial de un área de 0.15 km² que consiste en zanjas de infiltración aprovechando las fisuras y conductos de las calizas, de esta manera logrando infiltrar directamente al despejar la cobertura Maras o cuaternaria.

6. El acuífero kárstico de Pucamarca está compuesta por 8 bloques aflorantes con intenso grado de fracturamiento y un espesor mayor a 80 metros siendo de característica fisurado y kárstico, con surgencias de manantes episódicas y permanentes, los cuales pueden ser recargadas artificial y directamente en un área de 0.15 km² por sistemas de zanjas de infiltración, de esta manera aumentar la oferta hídrica para el Sector de Pucamarca y zonas cercanas.

Recomendaciones

1. Realizar un monitoreo de caudal y parámetros fisicoquímicos cada mes o cada dos meses durante el año para poder determinar el comportamiento de las aguas subterráneas y tener datos hidrodinámicos y de comportamiento de los componentes fisicoquímicos y químicos más detallados.
2. Instalar una estación meteorológica para obtener datos meteorológicos de manera específica en la zona de estudio con estaciones proyectadas de la Microcuenca Piuray, de esta manera tener datos de la intensidad de precipitación y duraciones de las precipitaciones y poder relacionar datos de carga y descarga más específicamente.
3. Realizar un análisis por trazadores en las zonas de recarga y determinar el tiempo de recorrido de las aguas subterráneas. Asimismo realizar este procedimiento en la parte alta de zonas de recarga de la microcuenca Piuray y poder concretar la asociación a la falla Piuray de las aguas de los manantes perennes.
4. Instalar un piezómetro en la parte inferior de la quebrada sobre depósitos aluviales ya que presenta corrientes efluentes hacia la parte inferior de flujos de agua, de esta manera poder medir la variación piezométrica y la influencia de los métodos de recarga artificial.

Bibliografía

- Auge, M. (2008). *Métodos Geoeléctricos para la prospección de agua subterránea*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Caballero Romero, A. (2014). *Metodología integral innovadora para planes y tesis*. Mexico: Cengage Learning.
- CALLOT, P. (2008). *La Formation Ayabacas (limite Turonien-Coniacien, Sud-Pérou) : collapse sous-marin en réponse à l’amorce de l’orogénèse andine*. Francia.
- Carlotto, V. (1992). Relations entre sédimentation, paléogéographie et tectonique dans la région de Cuzco (Sud du Pérou) entre le Jurassique supérieur et le Paléocène. *Memoire DEA*, 113.
- Carrasco Diaz, S. (2005). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA*. LIMA: SAN MARCOS.
- CEOTMA, Centro de Estudios de Ordenamiento del Territorio y Medio Ambiente. (2014). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y metodología*. Madrid.
- CUSTODIO, E., & LLAMAS, M. (1996). *HIDROLOGIA SUBTERRANEA*. ESPAÑA: OMEGA.
- Gasulla Forner, M. (1999). *OBTENCIÓN DE IMÁGENES DE LA DISTRIBUCIÓN DE IMPEDANCIA ELECTRICA EN EL SUBSUELO. APLICACION A LA DETECCION DE OBJETOS LOCALES*. Catalunya: Universidad Politecnica de Catalunya.
- GUAMAN POMA DE AYALA. (2013). *Estudio del plan de gestión integral de recursos hídricos de la Microcuenca de la laguna de Piuray*. Cusco.

INGEMMET. (1996). *BOLETIN N° 65, Geologia de los Cuadrangulos de Urubamba y Calca*. INGEMMET.

INGEMMET. (2011). *Boletin N° 138, Geologia del Cuadrangulo de Cusco*. Lima: INGEMMET.

INGEMMET. (2013). *Neotectonica y peligro sismico en el Cusco*. Lima: INGEMMET.

Loke, M. H. (1997). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Estudios. A practical guide to 2-D and 3-D surveys*. Malaysia.

Marocco, R. (1978). *Estudio geologico de la Cordillera de Vilcabamba*. Lima: Instituto de Geologia y Minería, Boletín Serie D.

Martinez Vidal, J. L. (1997). *Calidad y contaminacion de aguas subterranas: Los sistemas acuíferos del Campo Dalías y Cuenca del Andarax*. Almería: Universidad de Almería.

MATEOS, R. M. (2016). Karst springs. *Enseñanzas de las ciencias*, 15.

MINSA. (2011). *Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano*. Lima: MINSA.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHINCHERO. (2015). *PLAN DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE CHINCHERO 2016-2025*. CHINCHERO.

NG Cutipa, W. (Noviembre de 2014). *Estudio Hidrogeológico de la Parte Alta de la Cuenca del Río Ilo-Moquegua*. Tesis de pregrado, Cusco. Recuperado el enero de 2020

Orellana Silva, E. (1982). *PROSPECCION GEOELECTRICA EN CORRIENTE CONTINUA Parte 1*. Mexico.

Perez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

PULIDO BOSH, A. (2014). *PRINCIPIOS DE HIDROGEOLOGÍA KARSTICA*. Editorial Universidad de Almería 2014. Recuperado el enero de 2020

PULIDO BOSH, A. (2014). *Principios de hidrogeologia karstica*. Almeria: Universidad de Almeria.

Serrato Álvarez, P. K. (2009). Nuevos elementos conceptuales para la clasificación fisiográfica del terreno. *Análisis Geográficos N.º 40*, 29.

Taipe Maquerhua, E. (2016). *MONITOREO GEODÉSICO DE FALLAS ACTIVAS EN LA REGIÓN CUSCO*. Lima: INGEMMET.

WERNER, J. (1996). *INTRODUCCION A LA HIDROGEOLOGIA*. Linares, Nuevo Leon, Mexico: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON.

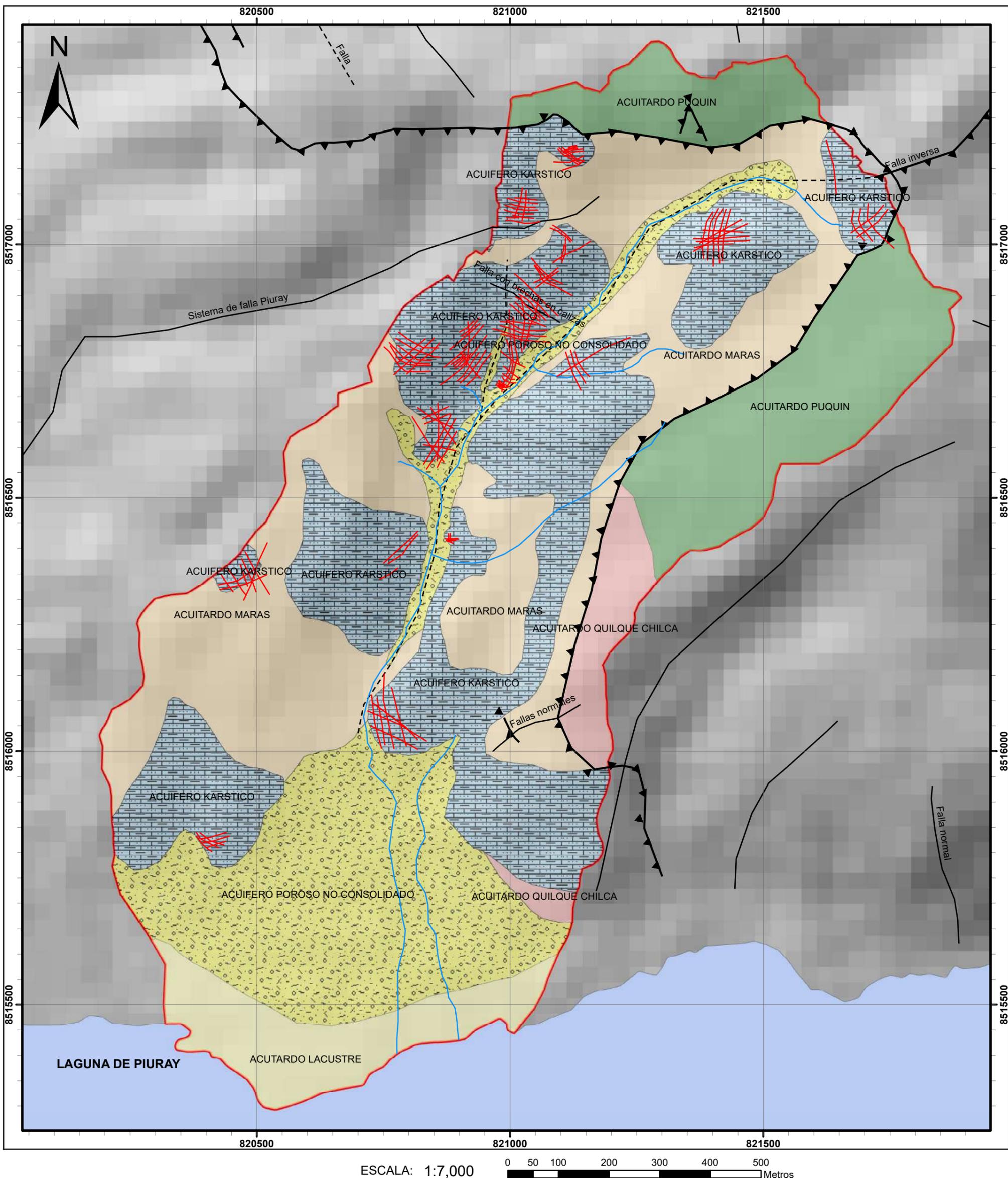
WILLIAMS, D. F.-P. (1989). *KARST HIDROGEOLOGY AND GEOMOPHOLOGY*. INGLATERRA: GREAT BRITAIN AND ANTONIE ROWE LTD.

Zuñiga Lara, R. (2012). *Detección de zonas de riesgo a lo largo del colector de drenaje poniente de la ciudad de Guatemala*. Mexico: UNAM.

ANEXOS

CONTENIDO DE ANEXOS

- Mapa de fracturas
- Mapa hidroquímico
- Mapa de Isoyetas
- Mapa de ubicación de líneas de tomografía eléctrica
- Secciones de resistividad de tomografía eléctrica (1 al 6)
- Fichas de manantes (1 al 15)
- Fichas de permeabilidad (1 al 15)
- Fichas de muestreo y análisis químico (1 al 11)
- Ficha de valorización de macizo rocoso (RMR)



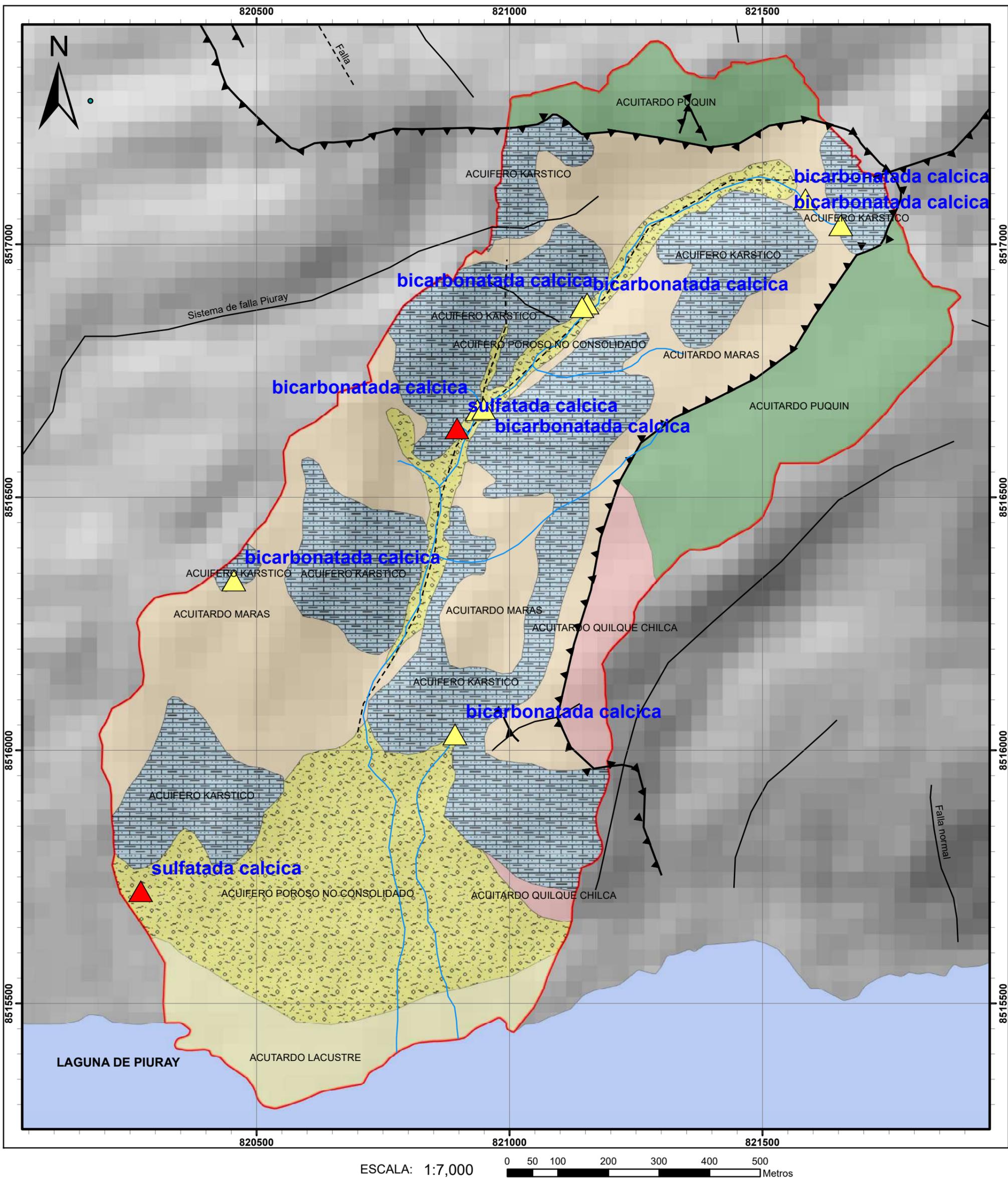
LEYENDA

NOMBRE	
	ACUIFERO KARSTICO
	ACUIFERO POROSO NO CONSOLIDADO
	ACUITARDO MARAS
	ACUITARDO PUQUIN
	ACUITARDO QUILQUE CHILCA
	ACUITARDO LACUSTRE

SIMBOLOGIA

	FRACTURAS
	DRENAJE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA					
PLANO:			FRACTURAS		
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"					
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM:	19 S WGS 84	LAMINA:	
PROVINCIA:	URUBAMBA	ELABORADO:	Bch. Carlos William Huaman Succo Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela		
DISTRITO:	CHINCHERO	Asesor:	Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana		
COMUNIDAD:	CCAMU - PUCAMARCA	FECHA:	Enero 2020	ESCALA:	1:7000
					P-13



LEYENDA

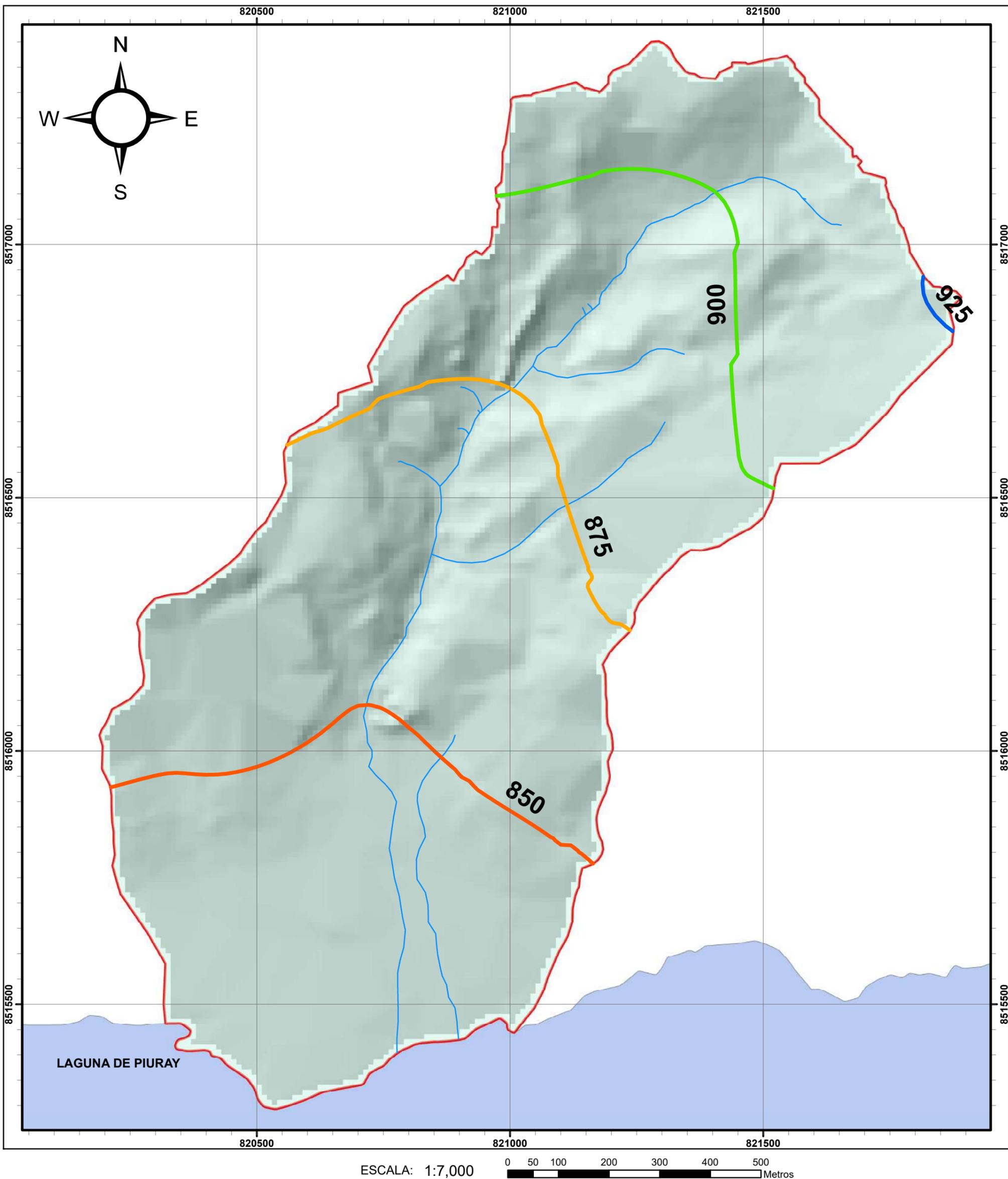
NOMBRE

- ACUIFERO KARSTICO
- ACUIFERO POROSO NO CONSOLIDADO
- ACUITARDO MARAS
- ACUITARDO PUQUIN
- ACUITARDO QUILQUE CHILCA
- ACUITARDO LACUSTRE

SIMBOLOGIA

- bicarbonatada calcica
- sulfatada calcica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
PLANO:			HIDROQUIMICO
TESIS:			"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM:	19 S WGS 84
PROVINCIA:	URUBAMBA	ELABORADO:	Bch. Carlos William Huaman Suco Bch. Yusef Gavino Valenzuela Valenzuela
DISTRITO:	CHINCHERO	Asesor:	Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana
COMUNIDAD:	CCAMU - PUCAMARCA	FECHA:	Enero 2020
		ESCALA:	1:7000
			P-14



LEYENDA

MICROC_QUEBRADA

SIMBOLOGIA

PRECIPITACION mm

850

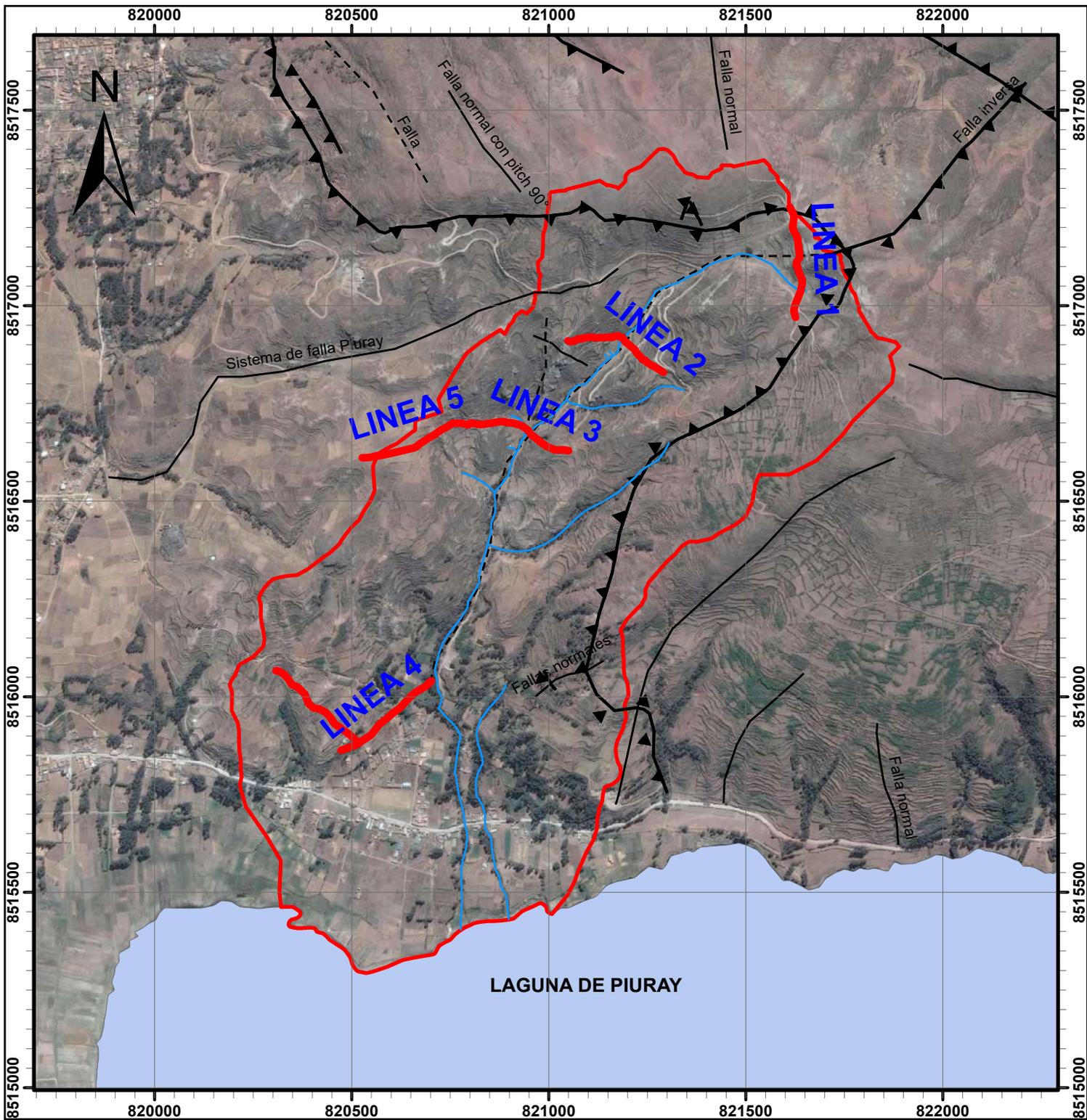
875

900

925

DRENAJE

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>					
PLANO:			ISOYETAS		
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"					
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM:	19 S WGS 84	LAMINA:	
PROVINCIA:	URUBAMBA	ELABORADO:	Bch. Carlos William Huaman Suco Bch. Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela		
DISTRITO:	CHINCHERO	Asesor:	Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana		
COMUNIDAD:	CCAMU - PUCAMARCA	FECHA:	Enero 2020	ESCALA:	1:7000
					P-15



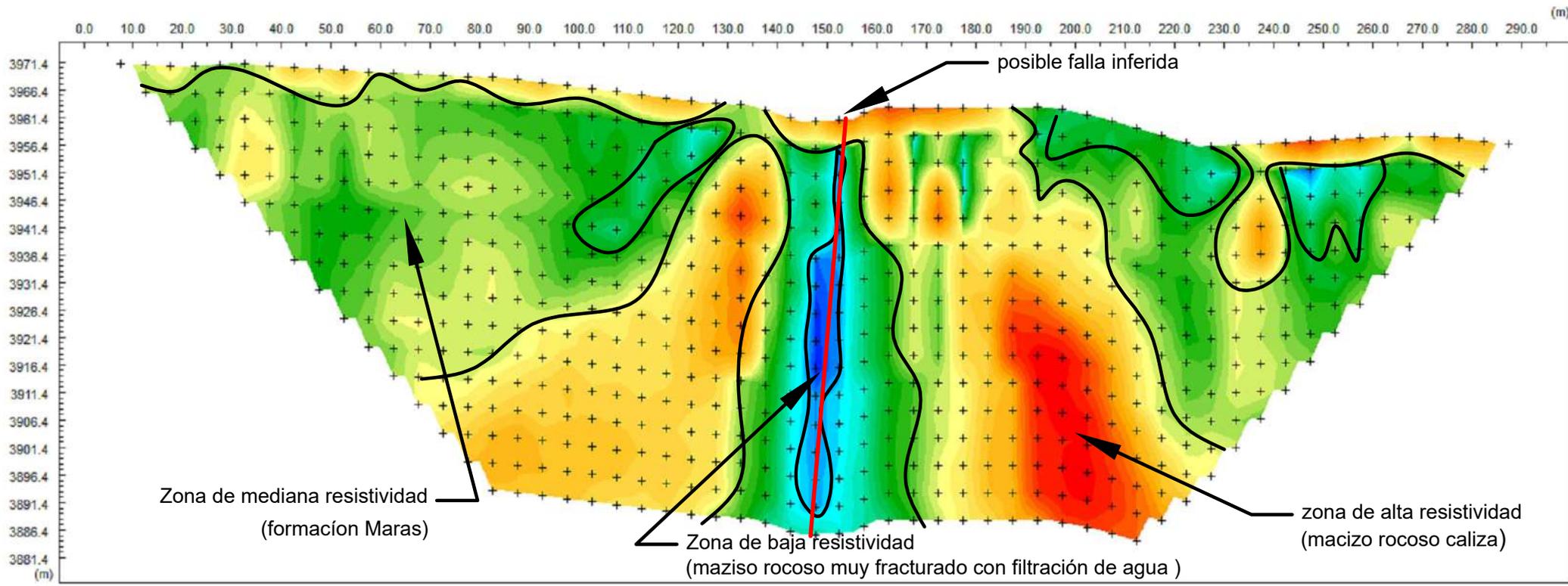
ESCALA: 1:14,000



SIMBOLOGIA	
	LINEAS TOMOGRAFICAS
	DRENAJE

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PLANO: LINEAS DE TOMOGRAFIAS ELECTRICAS		
TESIS: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO KARSTICO PARA DETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO, CUSCO"		
DEPARTAMENTO: CUSCO	DATUM: 19 S WGS 84	LAMINA:
PROVINCIA: URUBAMBA	ELABORADO: Bch. Carlos William Huaman Susco Bch. Yusef Gavino Valenzuela Valenzuela	P-LT
DISTRITO: CHINCHERO	Asesor: Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana	
COMUNIDAD: CCAMU - PUCAMARCA	FECHA: Enero 2020 ESCALA: 1:7000	

ERT-01-WENNER SLUMBERGER

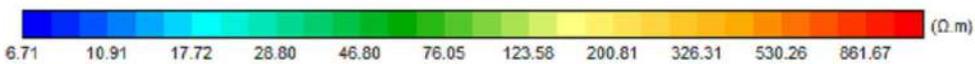


Zona de mediana resistividad
(formación Maras)

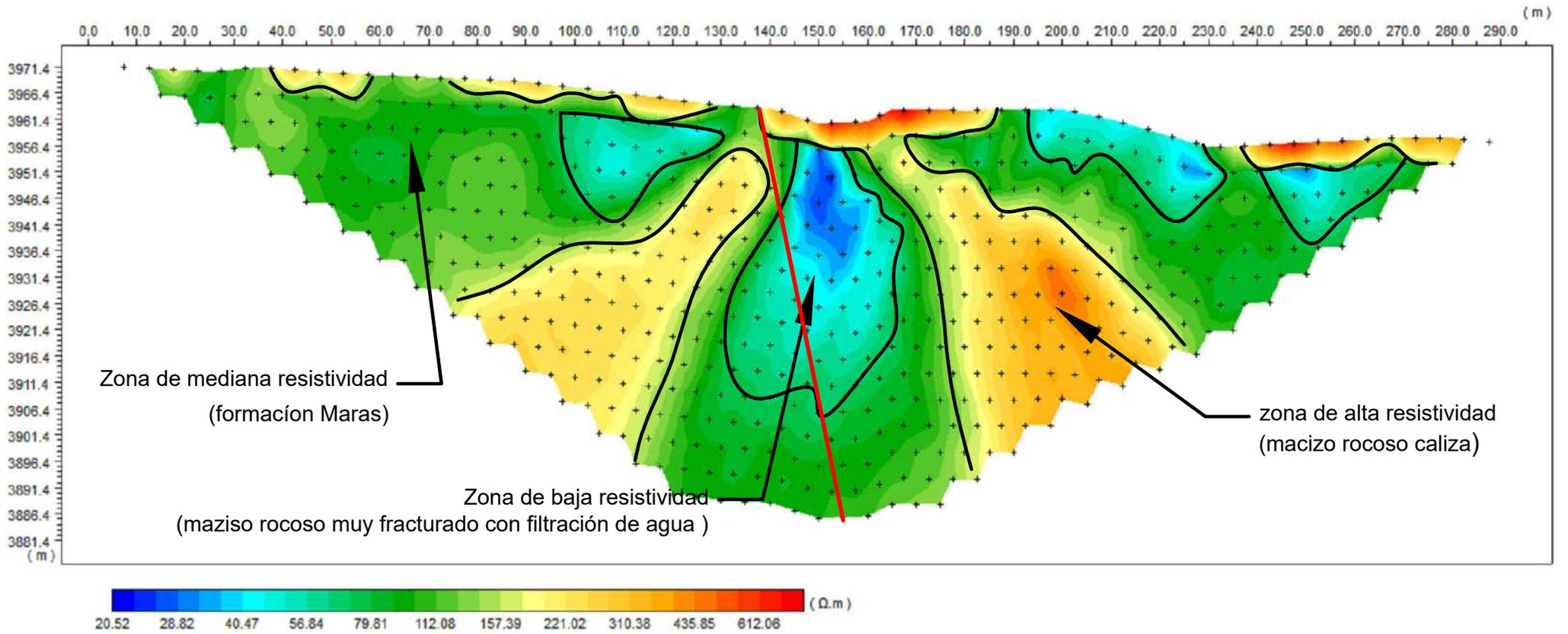
Zona de baja resistividad
(mazo rocoso muy fracturado con filtración de agua)

zona de alta resistividad
(macizo rocoso caliza)

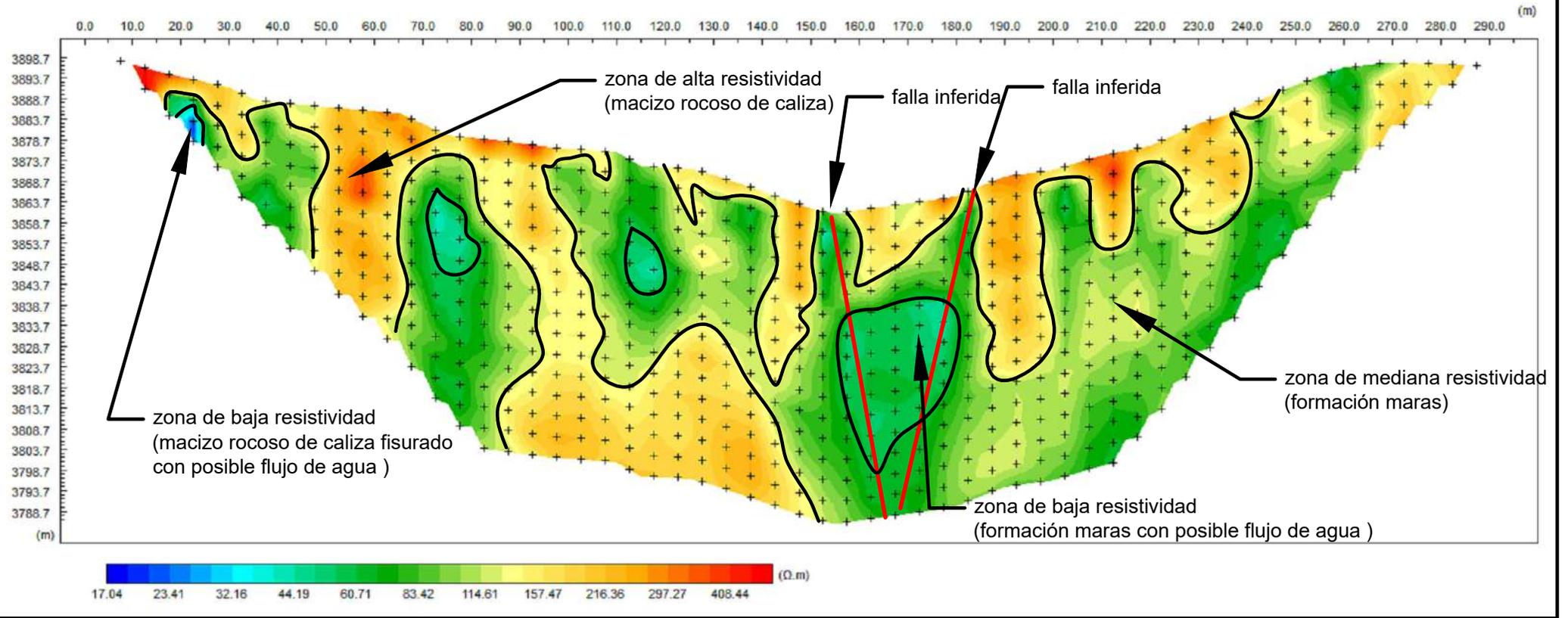
posible falla inferida



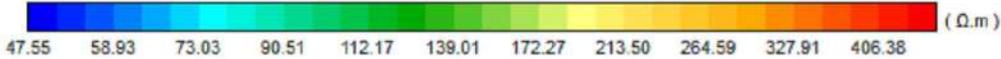
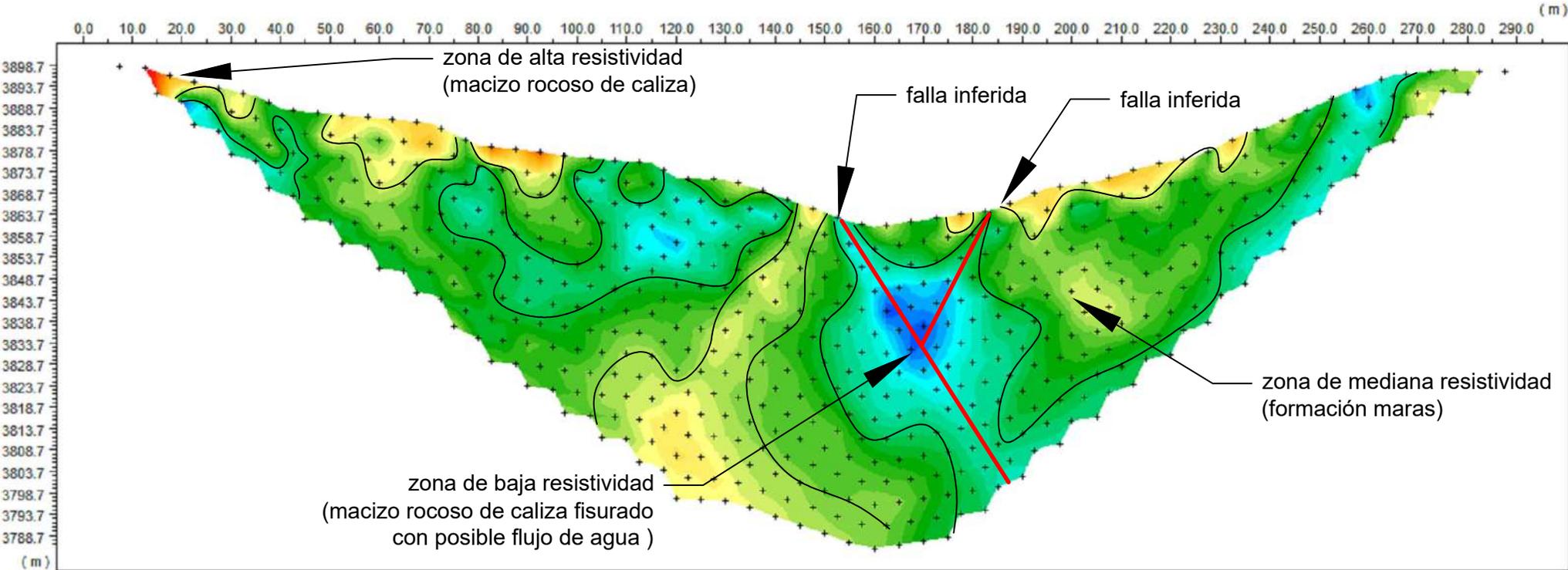
ERT-01-WENNER



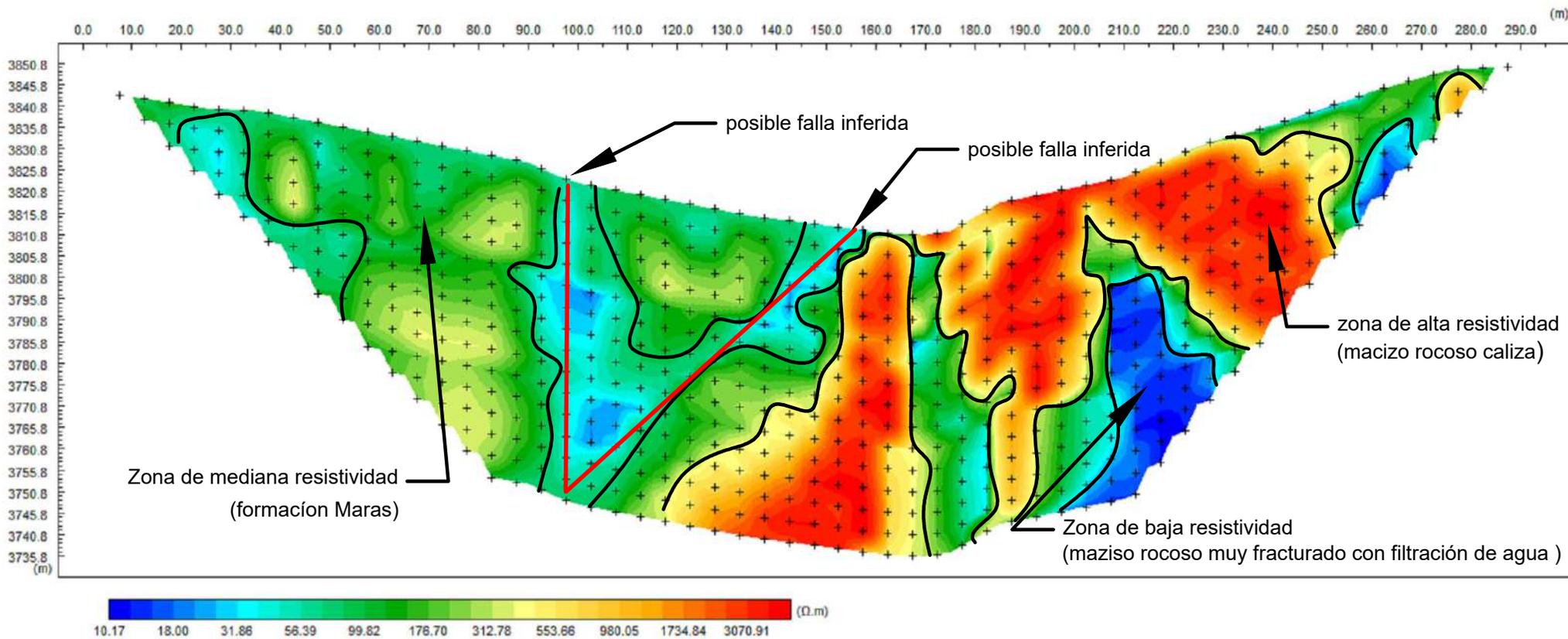
ERT-02-WENNER SLUMBERGER



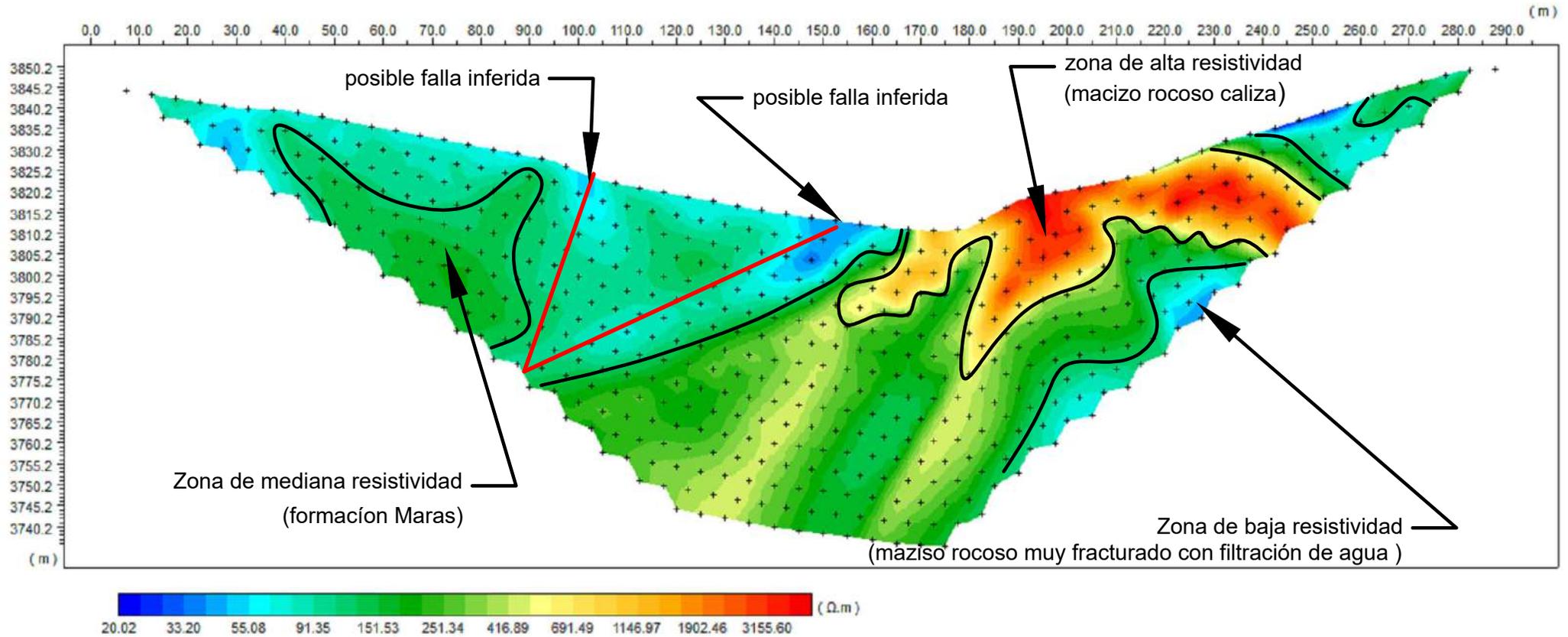
ERT-02-WENNER



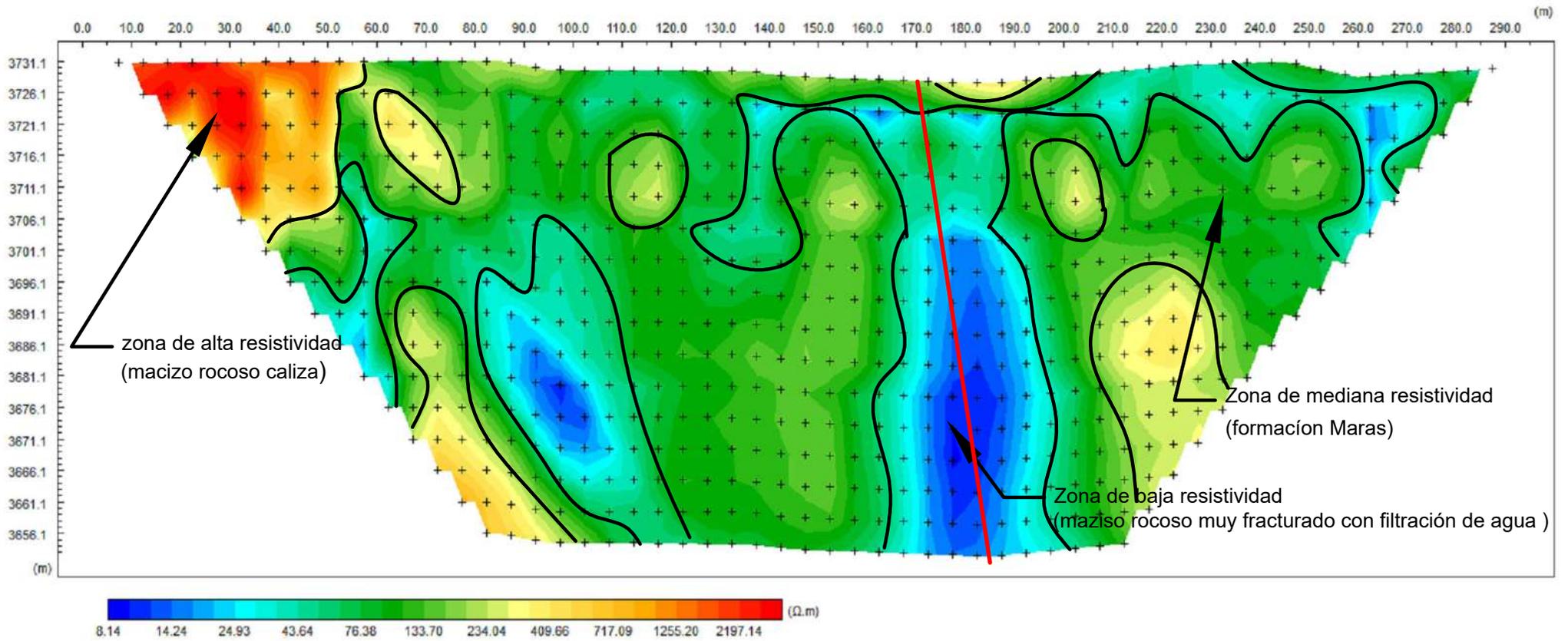
ERT-03-WENNER SLUMBERGER



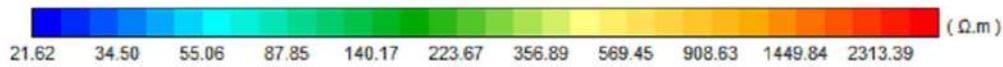
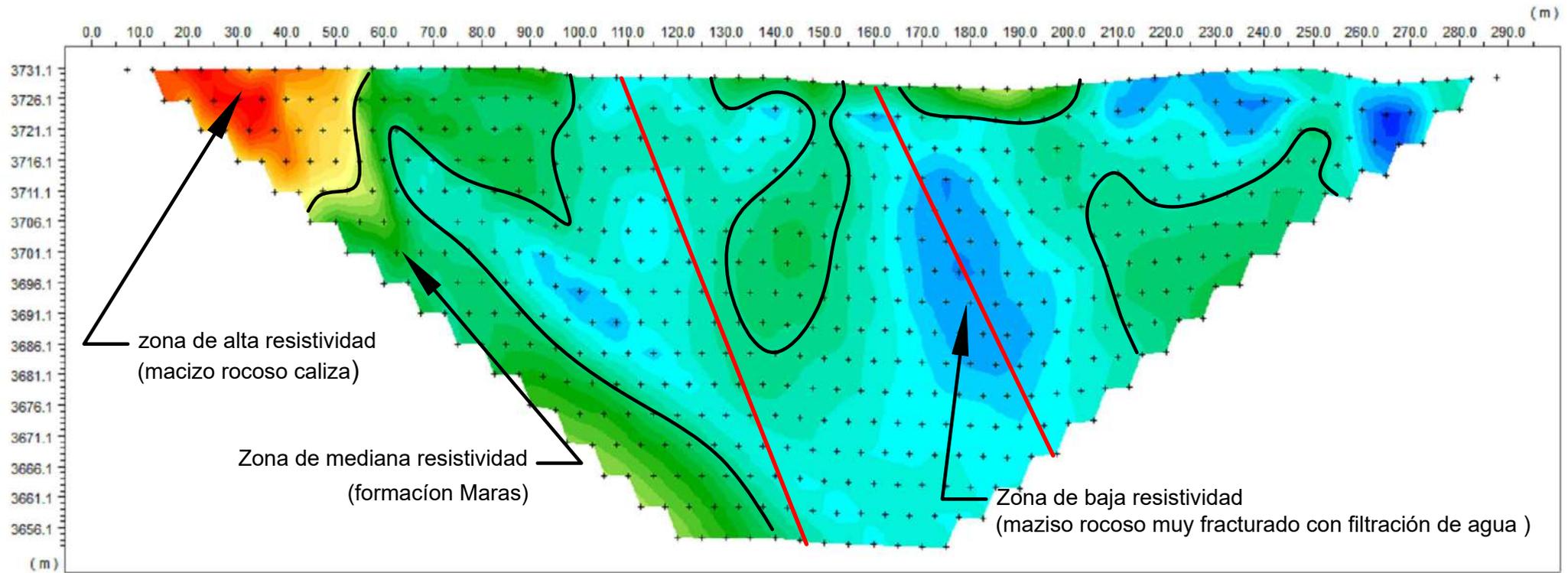
ERT-03-WENNER



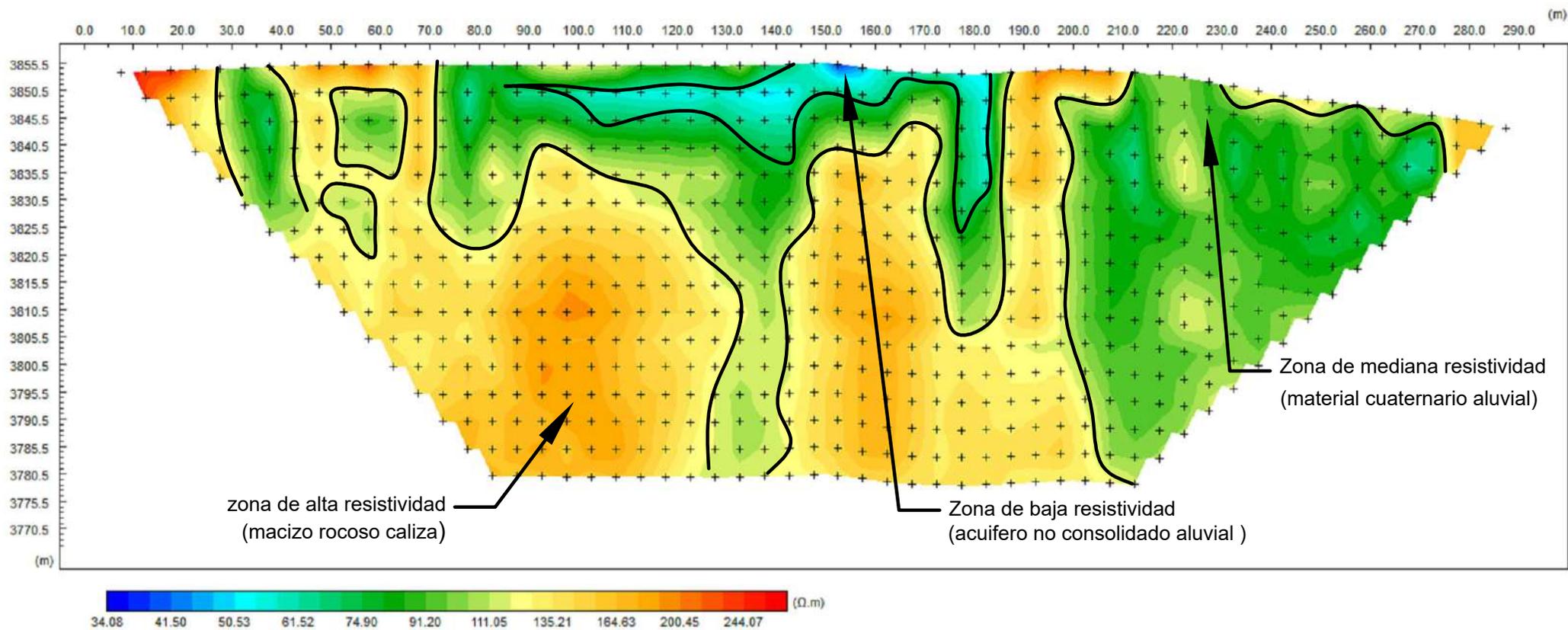
ERT-04-WENNER SLUMBERGER



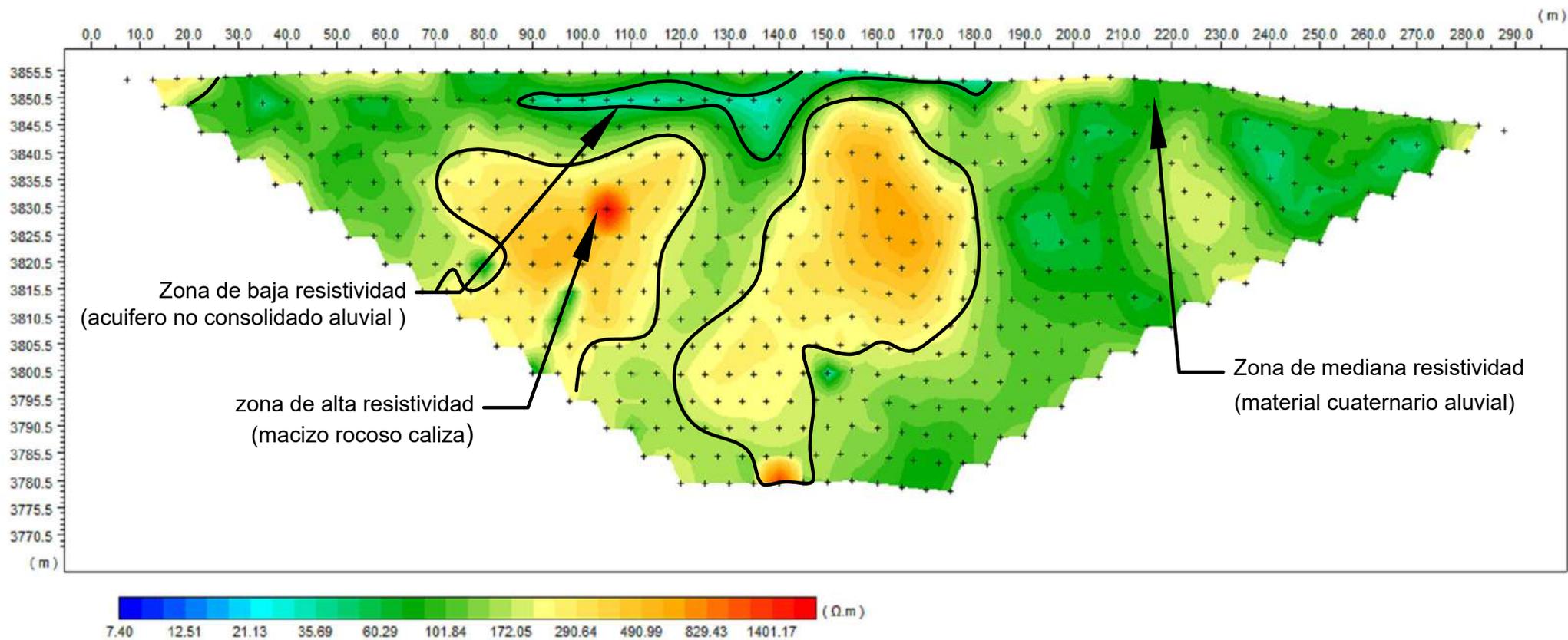
ERT-04-WENNER



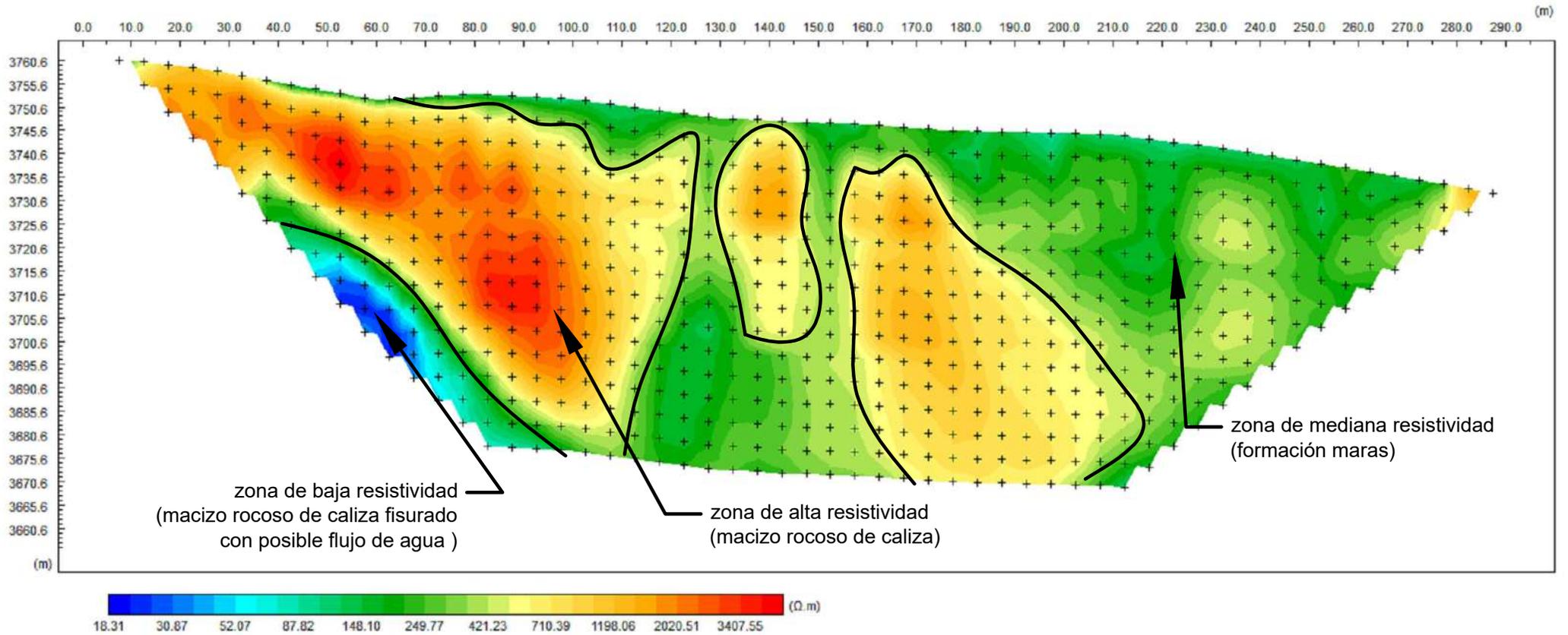
ERT-05-WENNER SLUMBERGER



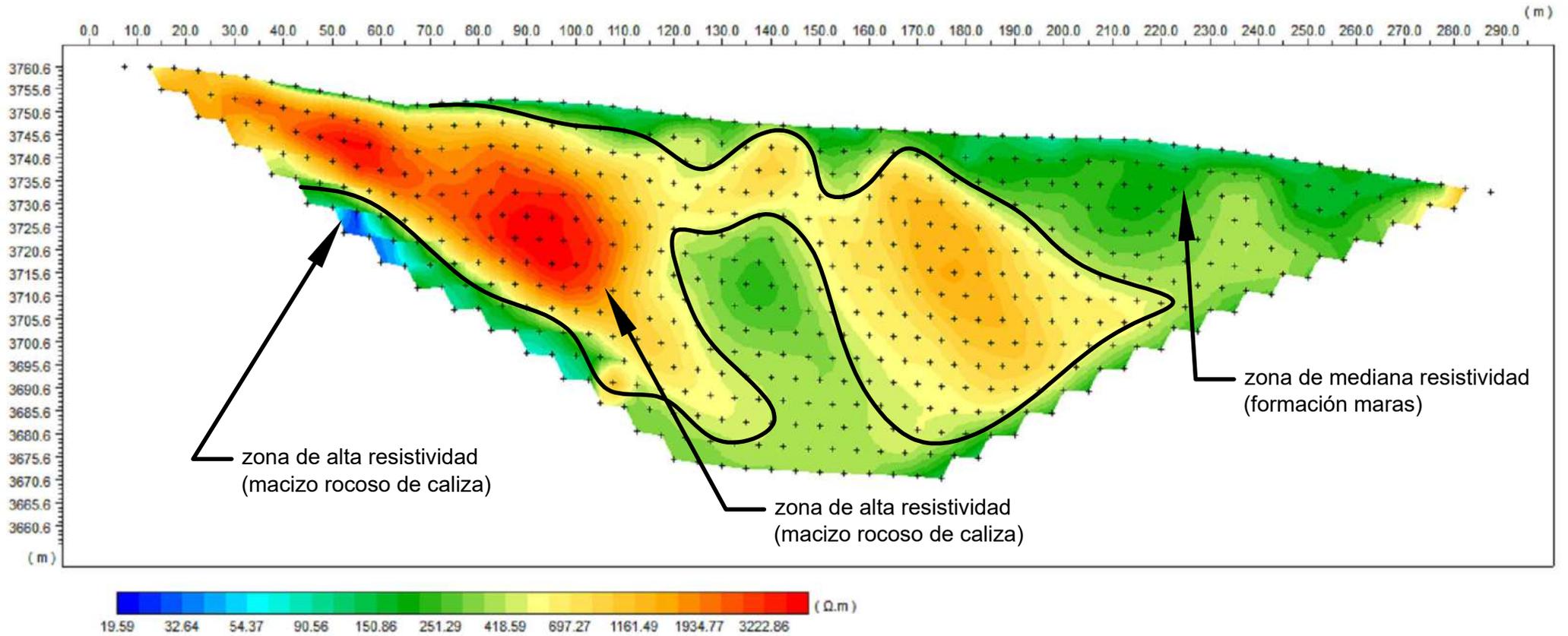
ERT-05-WENNER



ERT-06-WENNER SLUMBERGER



ERT-06-WENNER



NOMBRE: Tancarpujio		
UBICACIÓN		
UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Huitapugio	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 819571.903917057	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8515514.9933053	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	
REGISTRO DE CAMPO		
Tipo de fuente: Manate-1	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 15.22 C°	Salinidad: 0.789 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.24	Oxígeno Disuelto: 0.16 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. eléctrica: 1554 µS/cm	RES: 644 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 777 ppm	Uso: Riego
CAUDAL (lt/s)		
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013	3.5	
2018-2019	0.1	0.13
FOTOGRAFÍA		
		
Fecha: 23/02/2018		

NOMBRE: Hatunchara 1

UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 821152.952857733	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516883.3815806	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente: Captación-3	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 13.01 C°	Salinidad: 0.253 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.25	Oxíg. 0.46 Disuelto: ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 520 µS/cm	RES: 1923 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 260 ppm	Uso: Riego

CAUDAL (lt/s)

año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013	0.55	
2018-2019	0.38	0.046

FOTOGRAFÍA



Fecha: 23/02/2018

NOMBRE: Jarahuaraca 2		
UBICACIÓN		
UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820895.984745872	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516636.6383894	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	
REGISTRO DE CAMPO		
Tipo de fuente: Captación-6	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 13.03 C°	Salinidad: 0.398 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.32	Oxíg. Disuelto: 0.42 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 805 µS/cm	RES: 1242 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 403 ppm	Uso: Consumo Humano
CAUDAL(It/s)		
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013	1.05	
2018-2019	0.77	0.78
FOTOGRAFÍA		
		
Fecha: 23/02/2018		

NOMBRE: Huecospuquio**UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820892	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516032	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente: Captación-9	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 12.36 C°	Salinidad: 0.188 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.5	Oxíg. Disuelto: 0.46 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 388 μ S/cm	RES: 2577 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 194 ppm	Uso: Riego

CAUDAL(lt/s)

año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013		
2018-2019	0.29	0.024

FOTOGRAFÍA

Fecha: 23/02/2018

NOMBRE: Chilcapuquio		
UBICACIÓN		
UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820271	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8515722	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	
REGISTRO DE CAMPO		
Tipo de fuente: Manante-3	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 13.58 C°	Salinidad: 0.619 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.33	Oxíg. Disuelto: 0.54 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 1232 µS/cm	RES: 812 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 616 ppm	Uso: Riego
CAUDAL(It/s)		
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013	5	
2018-2019	1.65	0.656
FOTOGRAFÍA		
		
Fecha: 23/02/2018		

NOMBRE:		
UBICACIÓN		
UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820455	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516336	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	
REGISTRO DE CAMPO		
Tipo de fuente: Captación	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: C°	Salinidad: psu
Microcuenca: Piuray	pH:	Oxíg. Disuelto: ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: $\mu\text{S/cm}$	RES: Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: ppm	Uso:
CAUDAL(lt/s)		
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013		
2018-2019		0.011
FOTOGRAFÍA		
		
Fecha: 23/02/2018		

NOMBRE: Juquipuerto 1		
UBICACIÓN		
UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 821654.8096652	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8517038.14666835	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	
REGISTRO DE CAMPO		
Tipo de fuente: Captación-1	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 12.23 C°	Salinidad: 0.288 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.09	Oxíg. Disuelto: 0.17 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 590 µS/cm	RES: 1695 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 295 ppm	Uso: Riego
CAUDAL (lt/s)		
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013	0.48	
2018-2019	0.51	0.075
FOTOGRAFÍA		
		
Fecha: 23/02/2018		

NOMBRE: Hatunchara 2		
UBICACIÓN		
UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 821143.002422386	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516876.30298804	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	
REGISTRO DE CAMPO		
Tipo de fuente: Captación-4	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 13.07 C°	Salinidad: 0.246 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.16	Oxíg. Disuelto: 0.49 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 506 µS/cm	RES: 1976 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 253 ppm	Uso: Riego
CAUDAL (lt/s)		
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013	0.33	
2018-2019	0.15	0.033
FOTOGRAFÍA		
		
Fecha: 23/02/2018		

NOMBRE: Jacaclluhuaycco

UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Tambocancha	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820432	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516858	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	

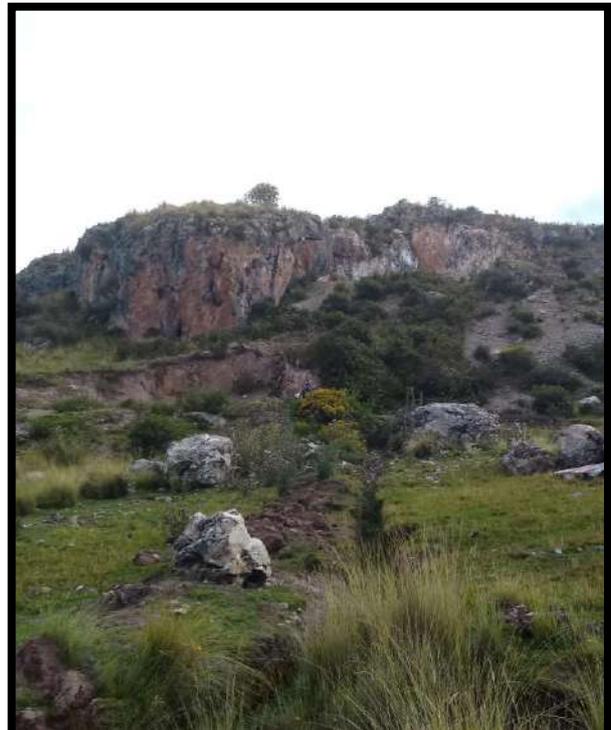
REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente: manante-2	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 11.48 C°	Salinidad: 0.155 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.74	Oxíg. Disuelto: 0.49 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 322 μ S/cm	RES: 3106 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 161 ppm	Uso: Riego

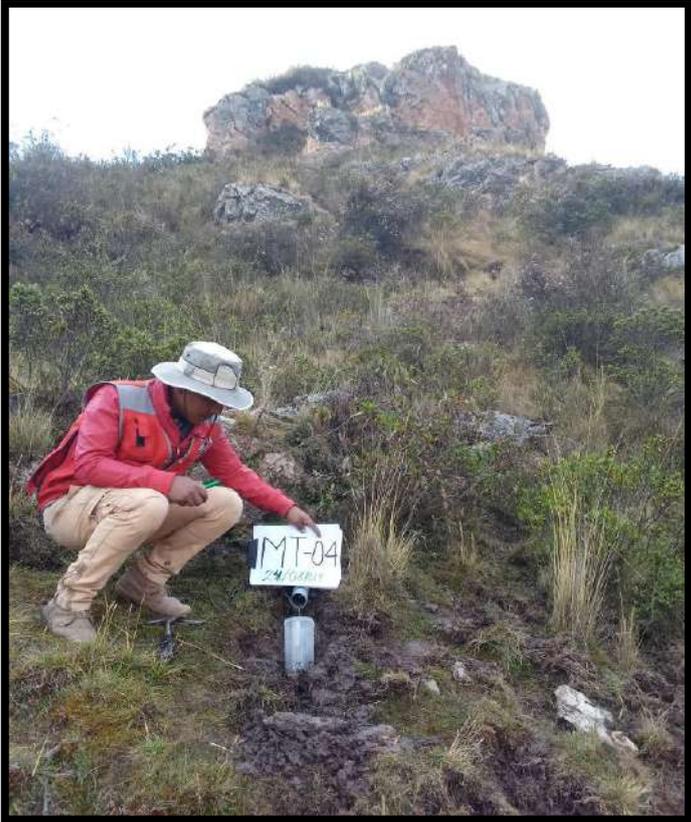
CAUDAL(lt/s)

año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013	1.5	
2018-2019	0.01	0.007

FOTOGRAFÍA



Fecha: 23/02/2018

NOMBRE: Jarahuaraca		
UBICACIÓN		
UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820902	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516719	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	
REGISTRO DE CAMPO		
Tipo de fuente: Manante-4	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: C°	Salinidad: psu
Microcuenca: Piuray	pH:	Oxíg. Disuelto: ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: $\mu\text{S}/\text{cm}$	RES: Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: ppm	Uso:
CAUDAL(lt/s)		
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013		
2018-2019		0.011
FOTOGRAFÍA		
		
Fecha: 23/02/2018		

NOMBRE: Juquipuerto 2		
UBICACIÓN		
UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 821584.7400947	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8517089.37515989	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	
REGISTRO DE CAMPO		
Tipo de fuente: Captación-2	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 12.44 C°	Salinidad: 0.315 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 6.95	Oxíg. Disuelto: 2.26 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 642 µS/cm	RES: 1558 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 321 ppm	Uso: Riego
CAUDAL (lt/s)		
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013		
2018-2019	0.09	0.003
FOTOGRAFÍA		
		
Fecha: 23/02/2018		

NOMBRE: Jarahuaraca 1		
UBICACIÓN		
UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820935.988585263	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516672.81299613	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	
REGISTRO DE CAMPO		
Tipo de fuente: Captación-5	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 12.48 C°	Salinidad: 0.238 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.18	Oxíg. Disuelto: 0.40 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 489 µS/cm	RES: 2045 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 244 ppm	Uso: Riego
CAUDAL (lt/s)		
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013		
2018-2019	0.72	0.11
FOTOGRAFÍA		
		
Fecha: 23/02/2018		

NOMBRE: Chitapujio

UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Huitapugio	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 819580	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516061	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente: Captación-8	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: 14.08 C°	Salinidad: 0.100 psu
Microcuenca: Piuray	pH: 7.15	Oxíg. Disuelto: 4.52 ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: 209 μ S/cm	RES: 4785 Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: 104 ppm	Uso: Consumo Humano

CAUDAL(lt/s)

año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013	0.54	
2018-2019	0.16	0.013

FOTOGRAFÍA



Fecha: 23/02/2018

NOMBRE: Ccotopupui**UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Camu	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820101	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516570	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente: Captación-10	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: C°	Salinidad: psu
Microcuenca: Piuray	pH:	Oxig. Disuelto: ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: $\mu\text{S}/\text{cm}$	RES: Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: ppm	Uso:

CAUDAL(lt/s)

año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013	1.58	
2018-2019		

FOTOGRAFÍA

Fecha: 23/02/2018

NOMBRE: Jarahuaraca

UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820779	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516571	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE CAMPO

Tipo de fuente: Manate-5	Parámetros Físicoquímicos	
Regimen: Permanente	Temperatura: C°	Salinidad: psu
Microcuenca: Piuray	pH:	Oxig. Disuelto: ppm
Subcuenca: Hatun Mayu	Cond. Eléctrica: μ S/cm	RES: Ohm-cm
Cuenca Hidrográfica: Urubamba	TDS: ppm	Uso:

CAUDAL(lt/s)

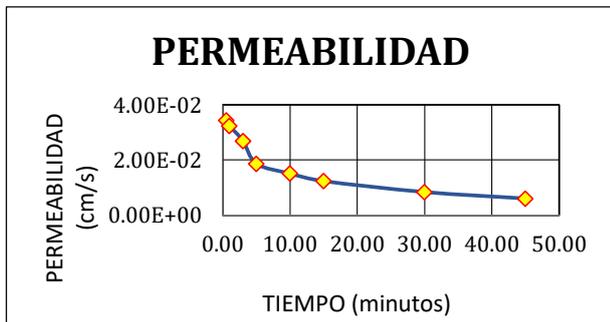
año de registro	Epoca de lluvias	Epoca de estiaje
2013		
2018-2019		

FOTOGRAFÍA

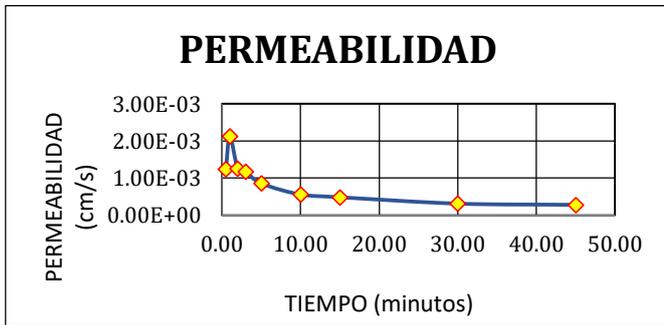


Fecha: 23/02/2018

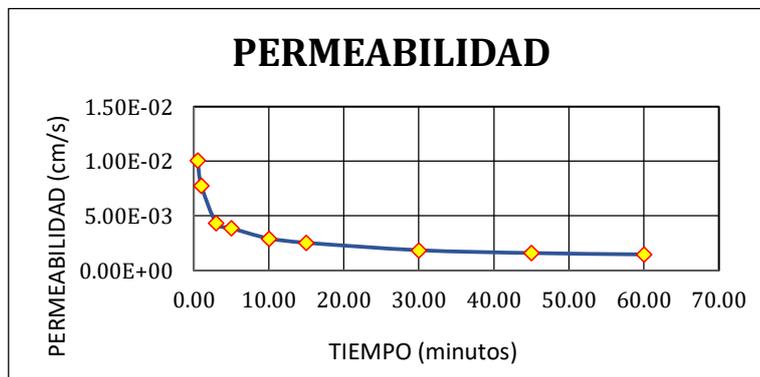
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.				
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	21/09/2019	Coordenadas:	820703	8515676	
Zona:	Pucamarca	Sondaje n°	EP-01	Nivel Superior	
Cota(ref.)	3975	m.s.n.m			
Profundidad de ensayo	0.20	m	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Diametro de tuberia	5.08	cm	Radio del tubo:	2.54	
Area de tuberia	20.27	cm ²	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Altura de nivel freatico	0.00	cm			
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm [^]			
Distancia que recorre (L)	1.00	cm			
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
EP-01	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	13.00	87.00	3.45E-02
		1.00	23.00	77.00	3.24E-02
		3.00	48.00	52.00	2.70E-02
		5.00	53.00	47.00	1.87E-02
		10.00	70.50	29.50	1.51E-02
		15.00	77.70	22.30	1.24E-02
		30.00	87.00	13.00	8.42E-03
		45.00	89.00	11.00	6.07E-03
					1.55E-01
PERMEABILIDAD	$Km = (cm/s)$		6.07E-03		
	Perm Prom =		1.93E-02		



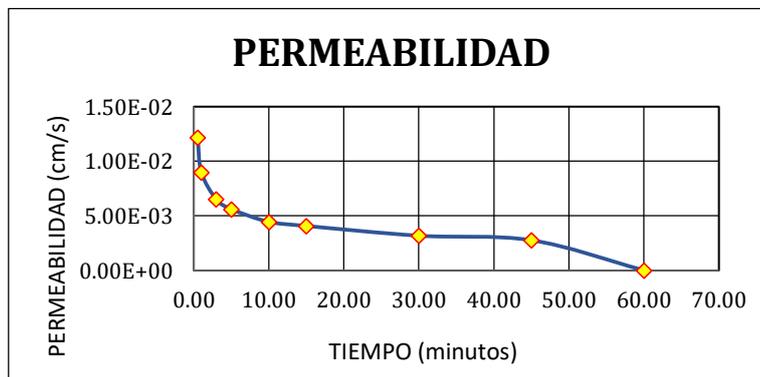
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.				
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	21/09/2019	Coordenadas:	821136.12	8516232.27	
Zona:	Pucamarca	Sondaje n°	EP-03	Nivel Superior	
Cota(ref.)	3975	m.s.n.m			
Profundidad de ensayo	0.20	m	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Diametro de tuberia	5.08	cm	Radio del tubo:	2.54	
Area de tuberia	20.27	cm ²	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Altura de nivel freatico	0.00	cm			
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm [^]			
Distancia que recorre (L)	1.00	cm			
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
EP-03	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	0.50	99.50	1.24E-03
		1.00	1.70	98.30	2.12E-03
		2.00	2.00	98.00	1.25E-03
		3.00	2.80	97.20	1.17E-03
		5.00	3.40	96.60	8.56E-04
		10.00	4.40	95.60	5.57E-04
		15.00	5.70	94.30	4.84E-04
		30.00	7.30	92.70	3.13E-04
		45.00	9.70	90.30	2.81E-04
PERMEABILIDAD	Km = (cm/s)		2.81E-04		
	Perm Prom =		8.28E-04		



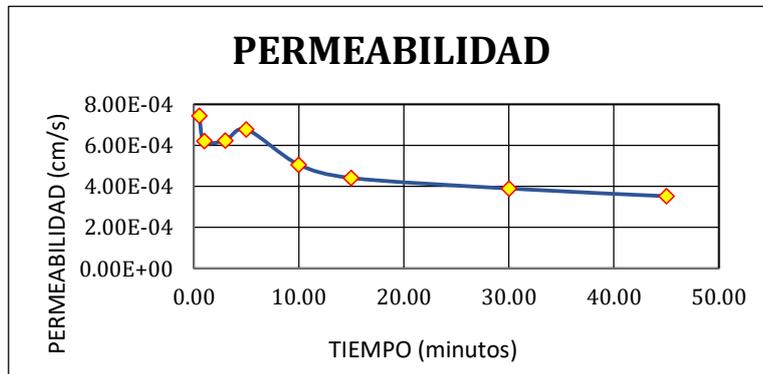
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.				
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	21/09/2019		Coordenadas:		
Zona:	Pucamarca		Sondaje n°	EP-04A	Nivel Superior
Cota(ref.)			m.s.n.m		
Profundidad de ensayo	0.20		m	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$	
Diametro de tuberia	5.08		cm	Radio del tubo:	2.54
Area de tuberia	20.27		cm ²	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$	
Altura de nivel freatico	0.00		cm		
Altura de carga inicial (h1)	100.00		cm		
Distancia que recorre (L)	1.00		cm		
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
EP-04A	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	4.00	96.00	1.01E-02
		1.00	6.10	93.90	7.79E-03
		3.00	10.00	90.00	4.35E-03
		5.00	14.50	85.50	3.88E-03
		10.00	21.10	78.90	2.93E-03
		15.00	26.50	73.50	2.54E-03
		30.00	36.30	63.70	1.86E-03
		45.00	44.10	55.90	1.60E-03
		60.00	51.00	49.00	1.47E-03
				3.65E-02	
PERMEABILIDAD	Km = (cm/s)		1.47E-03		
	Perm Prom =		4.06E-03		



Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.				
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	21/09/2019		Coordenadas:		
Zona:	Pucamarca		Sondaje n°	EP-04B	Nivel Superior
Cota(ref.)			m.s.n.m		
Profundidad de ensayo	0.20		m	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$	
Diametro de tubería	5.08		cm	Radio del tubo:	2.54
Area de tubería	20.27		cm ²	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$	
Altura de nivel freatico	0.00		cm		
Altura de carga inicial (h1)	100.00		cm		
Distancia que recorre (L)	1.00		cm		
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
EP-04B	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	4.80	95.20	1.22E-02
		1.00	7.00	93.00	8.98E-03
		3.00	14.60	85.40	6.51E-03
		5.00	20.30	79.70	5.62E-03
		10.00	30.20	69.80	4.45E-03
		15.00	39.00	61.00	4.08E-03
		30.00	53.80	46.20	3.19E-03
		45.00	63.50	36.50	2.77E-03
		60.00	1.00	99.00	2.07E-05
				4.78E-02	
PERMEABILIDAD	Km = (cm/s)				2.07E-05
	Perm Prom =				5.31E-03

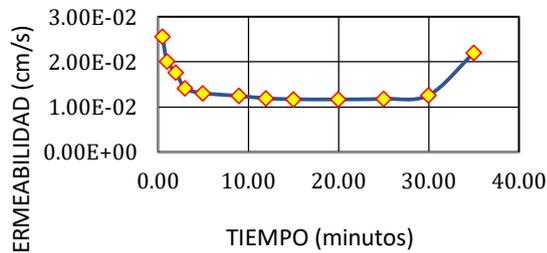


Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.				
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	21/09/2019	Coordenadas:	821588	8517101	
Zona:	Pucamarca	Sondaje n°	EP-05	Nivel Superior	
Cota(ref.)		m.s.n.m			
Profundidad de ensayo	0.20	m	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Diametro de tuberia	5.08	cm	Radio del tubo:	2.54	
Area de tuberia	20.27	cm ²	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Altura de nivel freatico	0.00	cm			
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm			
Distancia que recorre (L)	1.00	cm			
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
EP-05	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	0.30	99.70	7.44E-04
		1.00	0.50	99.50	6.21E-04
		3.00	1.50	98.50	6.24E-04
		5.00	2.70	97.30	6.78E-04
		10.00	4.00	96.00	5.05E-04
		15.00	5.20	94.80	4.41E-04
		30.00	9.00	91.00	3.89E-04
		45.00	12.00	88.00	3.52E-04
					4.35E-03
PERMEABILIDAD			$Km = (cm/s)$	3.52E-04	
			Perm Prom =	5.44E-04	



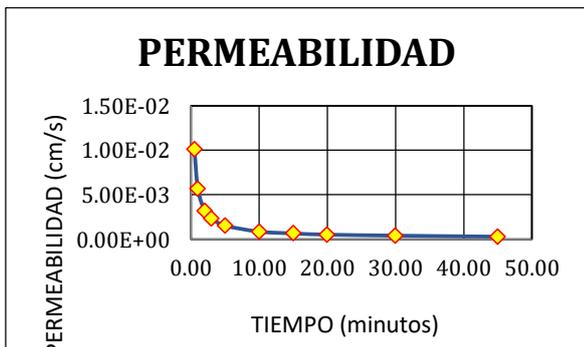
Proyecto:		ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINGHERO CUSCO.			
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	21/09/2019		Coordenadas:	821886	8516836.56
Zona:	Pucamarca		Sondaje n°	EP-06	Nivel Superior
Cota(ref.)	4000		m.s.n.m		
Profundidad de ensayo	0.20		m	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$	
Diametro de tuberia	5.08		cm	Radio del tubo:	2.54
Area de tuberia	20.27		cm ²	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$	
Altura de nivel freatico	0.00		cm		
Altura de carga inicial (h1)	100.00		cm [^]		
Distancia que recorre (L)	1.00		cm		
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
EP-06	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	9.80	90.20	2.55E-02
		1.00	15.00	85.00	2.01E-02
		2.00	24.80	75.20	1.76E-02
		3.00	29.00	71.00	1.41E-02
		5.00	41.00	59.00	1.31E-02
		9.00	59.50	40.50	1.24E-02
		12.00	68.50	31.50	1.19E-02
		15.00	75.80	24.20	1.17E-02
		20.00	84.80	15.20	1.17E-02
		25.00	90.80	9.20	1.18E-02
		30.00	95.30	4.70	1.26E-02
		35.00	99.80	0.20	2.20E-02
PERMEABILIDAD				Km = (cm/s)	1.17E-02
				Perm Prom =	1.54E-02

PERMEABILIDAD

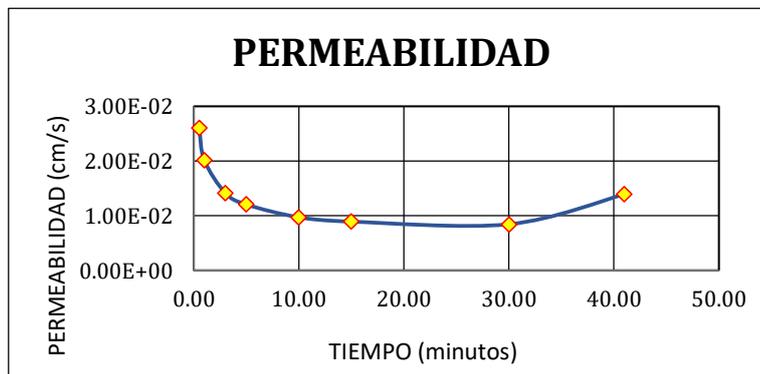


Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.				
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	21/09/2019	Coordenadas:	821524.3	8516988.02	
Zona:	Pucamarca	Sondaje n°	EP-07	Nivel Superior	
Cota(ref.)	3975	m.s.n.m			
Profundidad de ensayo	0.20	m	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Diametro de tuberia	5.08	cm	Radio del tubo:	2.54	
Area de tuberia	20.27	cm ²	$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Altura de nivel freatico	0.00	cm			
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm			
Distancia que recorre (L)	1.00	cm			
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
EP-07	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	4.00	96.00	1.01E-02
		1.00	4.50	95.50	5.70E-03
		2.00	5.00	95.00	3.17E-03
		3.00	5.50	94.50	2.33E-03
		5.00	6.00	94.00	1.53E-03
		10.00	6.70	93.30	8.59E-04
		15.00	7.60	92.40	6.52E-04
		20.00	8.00	92.00	5.16E-04
		30.00	9.40	90.60	4.07E-04
		45.00	10.00	90.00	2.90E-04

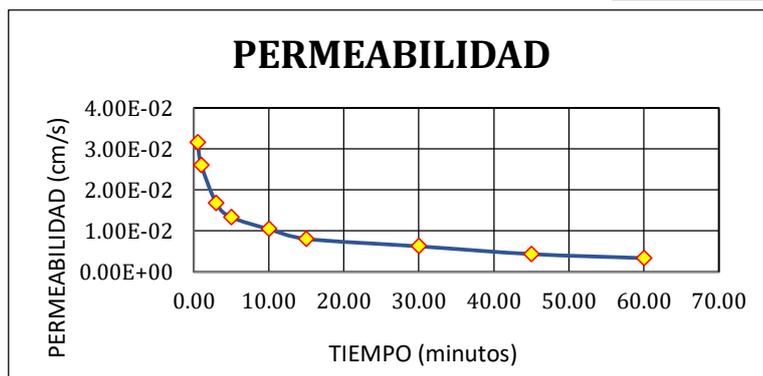
PERMEABILIDAD	Km = (cm/s)	2.90E-04
	Perm Prom =	2.32E-03



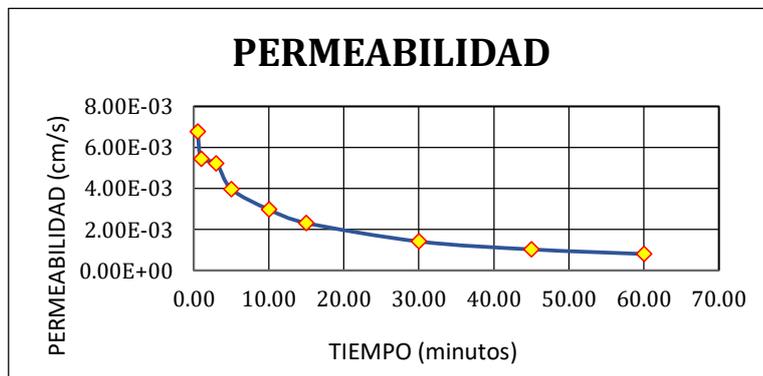
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.				
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	21/09/2019		Coordenadas:		
Zona:	Pucamarca		Sondaje n°	EP-08	Nivel Superior
Cota(ref.)			m.s.n.m		
Profundidad de ensayo	0.20		m	$Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$	
Diametro de tuberia	5.08		cm	Radio del tubo:	2.54
Area de tuberia	20.27		cm ²	$Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$	
Altura de nivel freatico	0.00		cm		
Altura de carga inicial (h1)	100.00		cm		
Distancia que recorre (L)	1.00		cm		
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
EP-08	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	10.00	90.00	2.61E-02
		1.00	15.00	85.00	2.01E-02
		3.00	29.00	71.00	1.41E-02
		5.00	38.50	61.50	1.20E-02
		10.00	54.30	45.70	9.69E-03
		15.00	66.00	34.00	8.90E-03
		30.00	87.00	13.00	8.42E-03
		41.00	99.00	1.00	1.39E-02
					1.13E-01
PERMEABILIDAD				Km = (cm/s)	8.42E-03
				Perm Prom =	1.42E-02



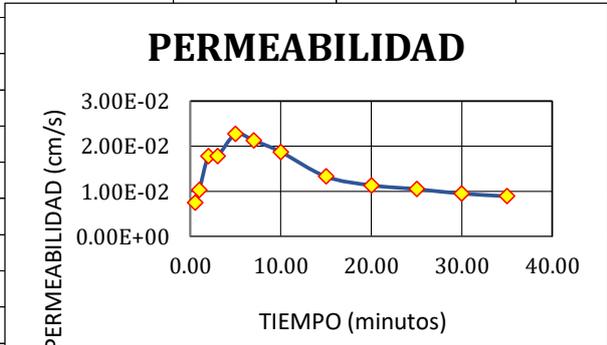
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.				
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	21/09/2019	Coordenadas:	820602	8516810	
Zona:	Pucamarca	Sondaje n°	EP-10A	Nivel Superior	
Cota(ref.)		m.s.n.m			
Profundidad de ensayo	0.20	m	$Km = RZ / ZL(tZ-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Diametro de tuberia	5.08	cm	Radio del tubo:	2.54	
Area de tuberia	20.27	cm ²	$Km = R2 / 2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$		
Altura de nivel freatico	0.00	cm			
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm			
Distancia que recorre (L)	1.00	cm			
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
EP-10A	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	12.00	88.00	3.17E-02
		1.00	19.00	81.00	2.61E-02
		3.00	33.40	66.60	1.68E-02
		5.00	41.70	58.30	1.34E-02
		10.00	57.00	43.00	1.04E-02
		15.00	62.40	37.60	8.07E-03
		30.00	78.00	22.00	6.25E-03
		45.00	79.50	20.50	4.36E-03
		60.00	80.50	19.50	3.37E-03
				1.20E-01	
PERMEABILIDAD				$Km = (cm/s)$	3.37E-03
				Perm Prom =	1.34E-02



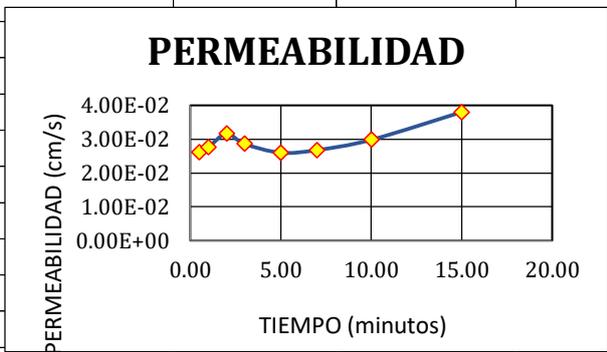
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.					
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba		
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela					
Fecha:	21/09/2019	Coordenadas:		820576	8516815	
Zona:	Pucamarca	Sondaje n°	EP-10B	Nivel Superior		
Cota(ref.)			m.s.n.m			
Profundidad de ensayo	0.20	m	$Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$			
Diametro de tuberia	5.08	cm	Radio del tubo:	2.54		
Area de tuberia	20.27	cm ²	$Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$			
Altura de nivel freatico	0.00	cm				
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm				
Distancia que recorre (L)	1.00	cm				
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad	
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s	
EP-10B	1.00	0.00	0.00	100.00		
		0.50	2.70	97.30	6.78E-03	
		1.00	4.30	95.70	5.44E-03	
		3.00	11.90	88.10	5.23E-03	
		5.00	14.80	85.20	3.97E-03	
		10.00	21.30	78.70	2.97E-03	
		15.00	24.40	75.60	2.31E-03	
		30.00	28.90	71.10	1.41E-03	
		45.00	31.00	69.00	1.02E-03	
		60.00	32.00	68.00	7.96E-04	
						2.99E-02
PERMEABILIDAD			$Km = (cm/s)$	7.96E-04		
			Perm Prom =	3.32E-03		



Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINGHERO CUSCO.																																
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba																													
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela																																
Fecha:	15/11/2019	Coordenadas:	821406	8517002																													
Zona:	Pucamarca	Sondaje n°	PK-01	Nivel Superior																													
Cota(ref.)			m.s.n.m																														
Profundidad de ensayo	0.20	m	$K_m = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$																														
Diametro de tuberia	5.08	cm	Radio del tubo:	2.54																													
Area de tuberia	20.27	cm ²	$K_m = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$																														
Altura de nivel freatico	0.00	cm																															
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm																															
Distancia que recorre (L)	1.00	cm																															
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad																												
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s																												
PK-01	1.00	0.00	0.00	100.00																													
		0.50	4.00	96.00	1.01E-02																												
		1.00	10.00	90.00	1.30E-02																												
		2.00	28.00	72.00	2.03E-02																												
		3.00	39.00	61.00	2.04E-02																												
		5.00	65.00	35.00	2.60E-02																												
		7.00	70.00	30.00	2.13E-02																												
		10.00	79.00	21.00	1.93E-02																												
		15.00	83.00	17.00	1.46E-02																												
		20.00	87.00	13.00	1.26E-02																												
		25.00	90.00	10.00	1.14E-02																												
		30.00	92.00	8.00	1.04E-02																												
		35.00	94.00	6.00	9.95E-03																												
					1.90E-01																												
PERMEABILIDAD Km = (cm/s)					9.95E-03																												
Perm Prom =					1.58E-02																												
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">PERMEABILIDAD</p> <table border="1"> <caption>Data for Permeability Graph</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (min)</th> <th>Permeabilidad (cm/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.00</td><td>1.01E-02</td></tr> <tr><td>0.50</td><td>2.03E-02</td></tr> <tr><td>1.00</td><td>1.30E-02</td></tr> <tr><td>2.00</td><td>2.03E-02</td></tr> <tr><td>3.00</td><td>2.04E-02</td></tr> <tr><td>5.00</td><td>2.60E-02</td></tr> <tr><td>7.00</td><td>2.13E-02</td></tr> <tr><td>10.00</td><td>1.93E-02</td></tr> <tr><td>15.00</td><td>1.46E-02</td></tr> <tr><td>20.00</td><td>1.26E-02</td></tr> <tr><td>25.00</td><td>1.14E-02</td></tr> <tr><td>30.00</td><td>1.04E-02</td></tr> <tr><td>35.00</td><td>9.95E-03</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 45%;"> </div> </div>						Tiempo (min)	Permeabilidad (cm/s)	0.00	1.01E-02	0.50	2.03E-02	1.00	1.30E-02	2.00	2.03E-02	3.00	2.04E-02	5.00	2.60E-02	7.00	2.13E-02	10.00	1.93E-02	15.00	1.46E-02	20.00	1.26E-02	25.00	1.14E-02	30.00	1.04E-02	35.00	9.95E-03
Tiempo (min)	Permeabilidad (cm/s)																																
0.00	1.01E-02																																
0.50	2.03E-02																																
1.00	1.30E-02																																
2.00	2.03E-02																																
3.00	2.04E-02																																
5.00	2.60E-02																																
7.00	2.13E-02																																
10.00	1.93E-02																																
15.00	1.46E-02																																
20.00	1.26E-02																																
25.00	1.14E-02																																
30.00	1.04E-02																																
35.00	9.95E-03																																

Proyecto:		ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.			
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	15/11/2019	Coordenadas:	821677	8517105	
Zona:	Pucamarca	Sondaje n°	PK-02	Nivel Superior	
Cota(ref.)		m.s.n.m			
Profundidad de ensayo	0.20	m	Km = R2/2L(t2-t1) x ln(L/R)ln (h1/h2)		
Diametro de tuberia	5.08	cm	Radio del tubo:	2.54	
Area de tuberia	20.27	cm ²	Km = R2/2L(t2-t1) x ln(L/R)ln (h1/h2)		
Altura de nivel freatico	0.00	cm			
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm [^]			
Distancia que recorre (L)	1.00	cm			
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
PK-02	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	3.00	97.00	7.54E-03
		1.00	8.00	92.00	1.03E-02
		2.00	25.00	75.00	1.78E-02
		3.00	35.00	65.00	1.78E-02
		5.00	60.00	40.00	2.27E-02
		7.00	70.00	30.00	2.13E-02
		10.00	78.00	22.00	1.87E-02
		15.00	80.00	20.00	1.33E-02
		20.00	84.00	16.00	1.13E-02
		25.00	88.00	12.00	1.05E-02
		30.00	90.00	10.00	9.50E-03
		35.00	92.00	8.00	8.93E-03
					1.70E-01
PERMEABILIDAD		Km = (cm/s)		7.54E-03	
		Perm Prom =		1.41E-02	
					

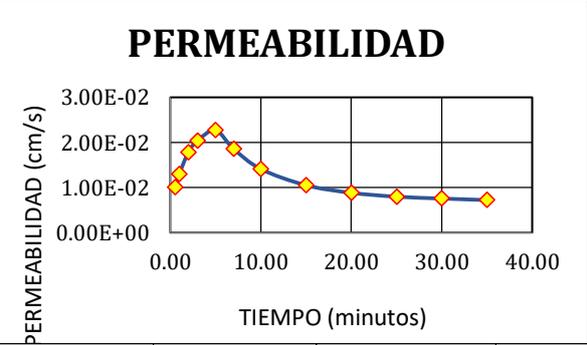
Proyecto:		ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINGHERO CUSCO.			
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	15/11/2019		Coordenadas:	821011	8516826
Zona:	Pucamarca		Sondaje n°	PK-03	Nivel Superior
Cota(ref.)			m.s.n.m		
Profundidad de ensayo	0.20	m		$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$	
Diametro de tuberia	5.08	cm		Radio del tubo:	2.54
Area de tuberia	20.27	cm ²		$Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$	
Altura de nivel freatico	0.00	cm			
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm [^]			
Distancia que recorre (L)	1.00	cm			
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
PK-03	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	10.00	90.00	2.61E-02
		1.00	20.00	80.00	2.76E-02
		2.00	40.00	60.00	3.16E-02
		3.00	50.00	50.00	2.86E-02
		5.00	65.00	35.00	2.60E-02
		7.00	78.00	22.00	2.68E-02
		10.00	91.00	9.00	2.98E-02
		15.00	99.00	1.00	3.80E-02
					2.35E-01
			PERMEABILIDAD	$Km = (cm/s)$	2.60E-02
				Perm Prom =	1.95E-02



Proyecto:		ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINGHERO CUSCO.			
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	15/11/2019		Coordenadas:	821010	8517087
Zona:	Pucamarca		Sondaje n°	PK-04	Nivel Superior
Cota(ref.)			m.s.n.m		
Profundidad de ensayo	0.20	m		$Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$	
Diametro de tuberia	5.08	cm		Radio del tubo:	2.54
Area de tuberia	20.27	cm ²		$Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$	
Altura de nivel freatico	0.00	cm			
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm			
Distancia que recorre (L)	1.00	cm			
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
PK-04	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	4.00	96.00	1.01E-02
		1.00	10.00	90.00	1.30E-02
		2.00	28.00	72.00	2.03E-02
		3.00	40.00	60.00	2.11E-02
		5.00	60.00	40.00	2.27E-02
		7.00	70.00	30.00	2.13E-02
		10.00	79.00	21.00	1.93E-02
		15.00	83.00	17.00	1.46E-02
		20.00	87.00	13.00	1.26E-02
		25.00	90.00	10.00	1.14E-02
		30.00	92.00	8.00	1.04E-02
		35.00	94.00	6.00	9.95E-03
PERMEABILIDAD		Km = (cm/s)		9.95E-03	
		Perm Prom =		1.56E-02	

PERMEABILIDAD

Tiempo (min)	Permeabilidad (cm/s)
0.50	1.01E-02
1.00	1.30E-02
2.00	2.03E-02
3.00	2.11E-02
5.00	2.27E-02
7.00	2.13E-02
10.00	1.93E-02
15.00	1.46E-02
20.00	1.26E-02
25.00	1.14E-02
30.00	1.04E-02
35.00	9.95E-03

Proyecto:		ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DELACUIFERO KARSTICO PARA DEETERMINAR ZONAS DE RECARGA ARTIFICIAL E INCREMENTAR LA OFERTA HIDRICA EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, CHINCHERO CUSCO.			
Ubicacion:	Distrito:	Chinchero	Provincia:	Urubamba	
Realizado por	Bachs. Carlos Huaman y Yuosef Valenzuela				
Fecha:	15/11/2019	Coordenadas:	820789	8516047	
Zona:	Pucamarca	Sondaje n°	PK-05	Nivel Superior	
Cota(ref.)			m.s.n.m		
Profundidad de ensayo	0.20	m	$Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$		
Diametro de tuberia	5.08	cm	Radio del tubo:	2.54	
Area de tuberia	20.27	cm ²	$Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$		
Altura de nivel freatico	0.00	cm			
Altura de carga inicial (h1)	100.00	cm			
Distancia que recorre (L)	1.00	cm			
Ubicación:	Prof.	Tiempo	Descenso	Altura de carga	Permeabilidad
	(m)	(min)	b_i (cm)	h₂ = h₁ - b_i	cm/s
PK-05	1.00	0.00	0.00	100.00	
		0.50	4.00	96.00	1.01E-02
		1.00	10.00	90.00	1.30E-02
		2.00	25.00	75.00	1.78E-02
		3.00	39.00	61.00	2.04E-02
		5.00	60.00	40.00	2.27E-02
		7.00	65.00	35.00	1.86E-02
		10.00	68.00	32.00	1.41E-02
		15.00	72.00	28.00	1.05E-02
		20.00	76.00	24.00	8.83E-03
		25.00	80.00	20.00	7.97E-03
		30.00	84.00	16.00	7.56E-03
		35.00	87.00	13.00	7.22E-03
					1.59E-01
PERMEABILIDAD Km = (cm/s)					7.22E-03
Perm Prom =					1.32E-02
					
<p style="text-align: center;">PERMEABILIDAD</p> 					

ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA**NOMBRE: Hatunchara 2****UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 821143.002422386	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516876.30298804	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: Peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE LABORATORIO

CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca[ppm]	Mg[ppm]	Cl[ppm]	SO4[ppm]	HCO3[ppm]
1.5	8.17	107.92	18.4	30.9	98.5	265.2

fotografía**Fecha: 10/01/2020**

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE AGUA**NOMBRE: Huecospuquio****UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820892	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516032	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: Peru		Datum: WGS84

REGISTRO DE LABORATORIO

CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca[ppm]	Mg[ppm]	Cl[ppm]	SO4[ppm]	HCO3[ppm]
3.4	4.1	62.32	8.28	20.6	102.8	140.4

fotografía

Fecha: 10/01/2020

ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA**NOMBRE: Juquipuquio 1****UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 821654.8096652	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8517038.14666835	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: Peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE LABORATORIO

CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca(ppm)	Mg(ppm)	Cl(ppm)	SO4(ppm)	HCO3(ppm)
1.5	9.20	115.52	18.4	26.2	142.5	258.4

fotografía**Fecha: 10/01/2020**

ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA**NOMBRE: Juquiquio 2****UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 821584.7400947	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8517089.37515989	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: Peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE LABORATORIO

CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca(ppm)	Mg(ppm)	Cl(ppm)	SO4(ppm)	HCO3(ppm)
1.9	10.3	117.8	20.7	29.9	164.2	251.6

fotografía**Fecha: 10/01/2020**

ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA						
NOMBRE: Manante-6						
UBICACIÓN						
UBICACIÓN POLÍTICA				COORDENADAS		
Lugar: Pucamarca Distrito: Chinchero provincia: Urubamba Region: Cusco Pais: Peru				UTM E: 820455 N: 8516336 Altura:		GEOGRÁFICAS Longitud: Oeste Latitud: Sur Zona: 18s Datum: WGS84
REGISTRO DE LABORATORIO						
CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca[ppm]	Mg[ppm]	Cl[ppm]	SO4[ppm]	HCO3[ppm]
0.5	3.25	41.8	9.2	20.7	9.2	146.4
fotografía						
						
Fecha: 10/01/2020						

ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA**NOMBRE: Manante-7****UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820172	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8517283	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: Peru		Datum: WGS84

REGISTRO DE LABORATORIO

CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca[ppm]	Mg[ppm]	Cl[ppm]	SO4[ppm]	HCO3[ppm]
0.5	3.25	54.6	7.36	13.2	20.6	132

fotografía

Fecha: 10/01/2020

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE AGUA**NOMBRE: Riachuelo de Pucamarca****UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820949	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516675	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: Peru		Datum: WGS84

REGISTRO DE LABORATORIO

CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca[ppm]	Mg[ppm]	Cl[ppm]	SO4[ppm]	HCO3[ppm]
0.2	3.15	53.2	8.28	10.5	75.9	140.2

fotografía

Fecha: 10/01/2020

ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA						
NOMBRE: Chilcapuquio						
UBICACIÓN						
UBICACIÓN POLÍTICA				COORDENADAS		
Lugar: Pucamarca				UTM	GEOGRÁFICAS	
Distrito: Chinchero				E: 820271	Longitud: Oeste	
provincia: Urubamba				N: 8515722	Latitud: Sur	
Region: Cusco				Altura:	Zona: 18s	
Pais: Peru				Datum: WGS84		
REGISTRO DE LABORATORIO						
CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca[ppm]	Mg[ppm]	Cl[ppm]	SO4[ppm]	HCO3[ppm]
2.5	14.6	197.6	24.84	28	536.1	204
fotografía						
						
Fecha: 10/01/2020						

ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA**NOMBRE: Jarahuaraca 1****UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820935.988585263	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516672.81299613	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
País: Peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE LABORATORIO

CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca[ppm]	Mg[ppm]	Cl[ppm]	SO4[ppm]	HCO3[ppm]
1.6	9.13	71.44	17.94	46.1	10.7	245.6

fotografía**Fecha: 10/01/2020**

ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA**NOMBRE: Jarahuaraca 2****UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 820895.984745872	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516636.6383894	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: Peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE LABORATORIO

CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca[ppm]	Mg[ppm]	Cl[ppm]	SO4[ppm]	HCO3[ppm]
2.1	9.76	140.6	16.1	110.6	222.3	204

fotografía**Fecha: 10/01/2020**

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE AGUA**NOMBRE: Hatunchara 1****UBICACIÓN**

UBICACIÓN POLÍTICA	COORDENADAS	
Lugar: Pucamarca	UTM	GEOGRÁFICAS
Distrito: Chinchero	E: 821152.952857733	Longitud: Oeste
provincia: Urubamba	N: 8516883.3815806	Latitud: Sur
Region: Cusco	Altura:	Zona: 18s
Pais: Peru	Datum: WGS84	

REGISTRO DE LABORATORIO

CATIONES				ANIONES		
K(mg/l)	Na(mg/l)	Ca(ppm)	Mg(ppm)	Cl(ppm)	SO4(ppm)	HCO3(ppm)
1.5	12.8	102.6	16.1	24.8	90.1	238.7

fotografía

Fecha: 10/01/2020

