

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



**TESIS**

**ESTUDIO GEOLOGICO, GEOFISICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA  
EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA EN LA MICROCUCNCA  
PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA –  
CUSCO 2020**

**PRESENTADO POR:**

Br. Valencia Ramos, Cristian Alvaro  
Br. Almanza Olarte, Guido Yerson

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEOLOGO

**ASESOR**

Mg. Ing. Edison Santiago Mattos Ojeda

**CUSCO – PERÚ  
2023**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO GEOLOGICO, GEOFISICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA - CUSCO 2020 presentado por: GUIDA VEISON ALMONZA OLARTE con DNI Nro.: 74469608 presentado por: CRISTIAN ALVARO VALENCIA RAMOS con DNI Nro.: 72946745 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 21 de DICIEMBRE de 2023



Firma

Post firma EDISON SANTIAGO MATTOS OJEDA

Nro. de DNI 23 853084

ORCID del Asesor 0000-0002-3236-025X

## Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: OID:27259:251683925

NOMBRE DEL TRABAJO

**Estudio Geologico, Geofisico e Hidrogeologico para la exploracion de agua subteranea en la microcuenca**

AUTOR

**Valencia C.-Almanza G.**

RECUENTO DE PALABRAS

**43817 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**248642 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**220 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**7.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 9, 2023 7:56 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 9, 2023 7:59 PM GMT-5**

### ● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Material bibliográfico
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de trabajos entregados
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)

## **Agradecimiento**

Agradecemos a nuestro asesor Mg. Ing. Edison Santiago Mattos Ojeda, por su generosidad, el aporte en la parte que nos dio para poder entender mejor los resultados una vez obtenidos, debido a su formación y experiencia en la presente investigación, a nuestro coasesor el Ing. Rene Pumayalli Saloma por su valiosa guía, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente agradecemos a nuestras familias por el apoyo que nos han brindado durante la ejecución de esta investigación.

**Valencia Ramos Cristian Alvaro**

**Almanza Olarte Guido Yerson**

## **Dedicatorias**

La presente investigación es dedica a nuestro Creador, por guiarnos y por la sabiduría que nos dio.

A mis padres Florentino Valencia Aguilar y Concepción Ramos Cuba, por el apoyo incondicional, esfuerzo y motivación para realizar esta investigación.

A mi compañera de vida Wendy Flores por el apoyo y amor imprescindible brindado a lo largo de los años.

Finalmente, a mi hermano quien inspira para ser mejor profesional y ejemplo de vida.

**Valencia Ramos Cristian Alvaro**

A Dios por la vasta guía.

A mis padres, hermana y mi bella abuelita Sinforosa—

Luna al cielo.

Les dedico esta segunda alegría añorada.

En la maravillosa lotería de los padres, me tocó el premio mayor: me dieron aprecio, conocimiento y perseverancia. Gracias enormes por todo el apoyo.

**Almanza Olarte Guido Yerson**

## Resumen

La tesis titulada: “Estudio geológico, geofísico e hidrogeológico para la exploración de agua subterránea en la microcuenca Paucarbamba distrito. de maras, provincia de Urubamba – Cusco 2020”. Su objetivo principal definir las características geológicas, geofísicas e hidrogeológicas de la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba con fines de exploración del agua subterránea

La metodología usada en la investigación es de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo con alcances explicativos y método no experimental, manteniendo en cuenta en la cuenca se utilizaron formatos para la recolección de datos, a nivel de geología y geomorfología con el cartografiado, hidrogeología con la medición de permeabilidad y la geofísica con sus respectivos formatos de acopio de información de SEVs. Culminado los estudios de geología se determinó que las formaciones Geológicas presentes en la Cuenca Paucarbamba abarcan un periodo desde el Mesozoico-Albiano hasta el Cenozoico Holoceno con depósitos Cuaternarios Q-co-al y Q-al. (Formaciones Maras, Quilque, Rumicolca, San Sebastián, depósitos cuaternarios Coluvio aluviales y aluviales). En cuanto a la clasificación hidrogeológica se tiene Acuíferos en la Formación Quilque, Depósitos Cuaternarios Coluvio Aluviales, Depósitos Aluviales y Formación Rumicolca. Acuitardos en Formación Maras y Formación San Sebastián. La permeabilidad mayor 63.935 m/día se observa en los depósitos Coluvio-Aluviales ubicados en el eje de la quebrada de la parte Media-Alta. Se observa la transmisividad de los Depósitos Coluvio Aluviales con 434.865 m<sup>2</sup>/día, valor que clasifica como buen transmisor de agua subterránea, incluyendo a la Formación Quilque con 756.08m<sup>2</sup>/día como excelente transmisor de agua subterránea, teniendo una reserva total de agua subterránea de 36 millones de m<sup>3</sup>.

***Palabras clave:*** Geofísica, resistividad, acuíferos, permeabilidad, transmisividad

## Abstract

The thesis entitled: "Geological, geophysical and hydrogeological study for groundwater exploration in the Paucarbamba micro-basin, district of Maras, province of Urubamba - Cusco 2020". Its main objective is to define the geological, geophysical and hydrogeological characteristics of the middle - upper part of the Paucarbamba micro-basin for groundwater exploration purposes.

The methodology used in the research is of quantitative approach, descriptive level with explanatory scopes and non-experimental method, keeping in mind that in the microbasin data collection formats were used, at the level of geology and geomorphology with the mapping, hydrogeology with the measurement of permeability and geophysics with their respective SEVs information collection formats. Once the geological studies were completed, it was determined that the geological formations present in the Paucarbamba micro-basin cover a period from the Mesozoic-Albian to the Holocene Cenozoic with Quaternary Q-co-al and Q-al deposits (Maras, Quilque, Rumicolca, San Sebastián formations, Quaternary alluvial and alluvial colluvial deposits). The hydrogeological classification includes aquifers in the Quilque Formation, Quaternary colluvial alluvial deposits, alluvial deposits and Rumicolca Formation. Aquitards in Maras Formation and San Sebastian Formation. The highest permeability 63,935 m/day is observed in the Coluvio-Alluvial deposits located in the axis of the ravine in the Middle-Upper part. The transmissivity of the Coluvio-Alluvial Deposits is observed with 434.865 m<sup>2</sup>/day, a value that classifies as a good transmitter of groundwater, including the Quilque Formation with 756.08m<sup>2</sup>/day as an excellent transmitter of groundwater, having a total groundwater reserve of 36 million m<sup>3</sup>.

**Key words:** *Geophysics, resistivity, aquifers, permeability, transmissivity.*

## Introducción

Actualmente los diferentes efectos mundiales como el calentamiento global, fenómenos locales como fenómeno del niño, la niña, el niño costero, entre otros condiciona a muchos sectores de la población y en mayor medida a poblaciones rurales a sufrir de escasez de agua tanto para las necesidades básicas como actividades que permitan el desarrollo económico, la presente investigación denominada “Estudio Geológico, Geofísico e Hidrogeológico para la exploración de agua subterránea en la cuenca Paucarbamba Distrito. de Maras, Provincia de Urubamba – cusco 2020” busca tener el adecuado estudio a fin de proponer una adecuada alternativa a los problemas de escasez de agua siendo las aguas subterráneas una adecuada fuente de recurso por presentar buenas características en volumen y calidad.

En la investigación se efectúa la identificación del problema observando que la cuenca Paucarbamba carece de agua para actividades necesarias, existiendo indicios de aguas subterráneas en pequeños manantiales, bofedales y escorrentía de menor volumen en el eje de quebrada para lo que el siguiente estudio propuso realizar el análisis geológico, hidrogeológico y geofísico para conocer el manejo adecuado de aguas subterráneas y dinámica de funcionamiento de los acuíferos y la posibilidad de implementar proyectos de explotación de aguas subterránea y recarga artificial de acuíferos.

En el desarrollo de la tesis, se presentarán cinco capítulos, en el capítulo I se presentan la generalidades como ubicación, accesibilidad, planteamiento del problema, objetivos e hipótesis, , en el capítulo II se desarrolla el marco teórico, en el capítulo III se desarrolla la metodología de la investigación, donde se abordan temas el marco geomorfológico, el marco geológico, la hidrología, la hidrogeología de la zona de estudio, la prospección de aguas subterráneas, en el capítulo IV se presentan los resultados y discusiones y finalmente en el capítulo V se formularán las conclusiones y recomendaciones.

## Índice

1	CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	16
1.1	Ubicación.....	16
	Ubicación Política.....	16
	Ubicación Geográfica.....	16
	Ubicación Hidrográfica.....	16
1.2	Delimitación.....	16
1.3	Accesibilidad.....	16
1.4	Planteamiento del problema.....	19
	Descripción del Problema.....	19
	Formulación del Problema.....	20
	Problemas Específicos.....	20
1.5	Objetivos.....	20
	Objetivo General.....	20
	Objetivos específicos.....	20
1.6	Hipótesis.....	21
	Hipótesis General.....	21
	Hipótesis específica.....	21
1.7	Justificación.....	21
1.8	Materiales, equipos y herramientas.....	22
2	CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1	Marco Referencial Antecedentes.....	23
2.1.1	Antecedentes a nivel local.....	23
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	25
2.1.3	Antecedentes Internacionales.....	26
2.2	Marco conceptual.....	29
2.2.1	Geomorfología:.....	29
2.2.2	Fisiografía.....	29
2.2.3	Parámetros Geomorfológicos.....	29
2.2.4	Geología.....	29
2.2.5	Dominio Tectónico.....	30
2.2.6	Hidrología.....	30
2.2.7	Hidrogeología o Hidrología Subterránea.....	30
2.2.8	Acuífero. -.....	30
2.2.9	Clasificación de Acuíferos.....	30
2.2.10	Tipos de acuíferos.....	31
2.2.11	Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K).....	32
2.2.12	Transmisividad.....	32
2.2.13	Origen y distribución del agua subterránea.....	32
2.2.14	Prospección geológica.....	33
2.2.15	Método Magnético.....	33
2.2.16	Método Gravimétrico:.....	33
2.2.17	Método Sísmico.....	34
2.2.18	Método Geoelectrico.....	34
3	CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	36
3.1	Método de la investigación.....	36
3.1.1	Enfoque de la investigación.....	36
3.1.2	Nivel o alcance de la investigación.....	36
3.1.3	Método de investigación.....	37
3.2	Diseño de la investigación.....	37
3.2.1	Diseño metodológico.....	37
3.2.2	Diseño de ingeniería.....	38
3.3	Población y muestra.....	39
3.3.1	Población.....	39

3.3.2	Muestra .....	39
3.4	Definición de Variables e Indicadores .....	39
3.4.1	Variables independientes.....	39
3.4.2	Variables dependientes.....	41
3.4.3	Operacionalidad de variables.....	41
3.5	Matriz de consistencia.....	43
3.6	Técnicas e instrumentos .....	44
3.6.1	Técnicas o métodos .....	44
3.6.2	Instrumentos de recolección de datos .....	44
3.6.3	Instrumentos de ingeniería .....	44
3.6.4	Materiales.....	45
3.7	Metodología del estudio .....	45
3.8	MARCO GEOMORFOLOGICO .....	48
3.8.1	Generalidades.....	48
3.8.2	Geomorfología Regional.....	48
3.8.3	planicie.....	48
3.8.4	Pampa de Piuray – Maras.....	49
3.8.5	El análisis de la topografía .....	50
3.8.6	Pendientes.....	68
3.8.7	Fisiografía de la Cuenca Paucarbamba .....	73
3.8.8	Descripción de las unidades geográficas en la cuenca Paucarbamba .....	78
3.8.9	Implicancias de las unidades geográficas en la cuenca Paucarbamba .....	86
3.8.10	Geomorfología de la Cuenca Paucarbamba .....	87
3.8.11	Parámetros Geomorfológicos.....	94
3.9	MARCO GEOLOGICO .....	104
3.9.1	GEOLOGÍA REGIONAL .....	104
3.9.2	GEOLOGÍA LOCAL.....	109
3.9.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	130
3.9.4	Dominio NE Cordillerano.....	130
3.9.5	Dominio SW Alplánico.....	130
3.9.6	Dominio Intermedio.....	131
3.10	HIDROLOGÍA .....	141
3.10.1	Parámetros Hidrológicos .....	141
3.10.2	Información Hidrometeorológica .....	141
3.10.3	Análisis, Interpretación y Evaluación de datos Meteorológicos.....	141
3.10.4	Análisis de Precipitación.....	145
3.10.5	Completado y extensión de registros.....	158
3.10.6	Precipitación Media.....	165
3.11	HIDROGEOLOGÍA .....	168
3.11.1	INTRODUCCION .....	168
3.11.2	Acuífero .....	168
3.11.3	Clasificación de Acuíferos .....	169
3.11.4	Tipos de acuíferos.....	171
3.11.5	Capacidad o coeficiente de almacenamiento del acuífero .....	172
3.11.6	Concepciones de Porosidad .....	172
3.11.7	Porosidad efectiva: .....	173
3.11.8	Porosidad Efectiva o Coeficiente de almacenamiento.....	174
3.11.9	Origen y distribución del agua subterránea .....	176
3.11.10	Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K).....	177
3.11.11	Factores que determinan la permeabilidad .....	177
3.11.12	Permeabilidades medidas .....	178
3.11.13	Movimiento de agua subterránea y dirección de flujo .....	190
3.11.14	Zona de descarga .....	190
3.11.15	Transmisividad .....	191
3.11.16	Hidroquímica .....	193
3.12	PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	204
3.12.1	Generalidades.....	204

3.12.2	Prospección geológica .....	204
3.12.3	Métodos .....	204
3.12.4	Funcionalidad y equipos:.....	205
3.13	MODELADO NUMÉRICO DE ACUIFERO .....	227
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	230
4.1	RESULTADOS .....	230
4.2	DISCUSIONES .....	236
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	240
6	Referencias .....	244
7	Anexos .....	248

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Unidades Geomorfológicas Regionales .....	49
Figura 2 Orden jerárquico de los grupos fisiográficos de la clasificación fisiográfica .....	50
Figura 3 Distribución porcentual de las unidades de gran paisaje en la cuenca Paucarbamba.	53
Figura 4 Gráfico de la distribución porcentual de las unidades de gran paisaje. ....	58
Figura 5 Unidad de Paisaje Altiplanicie Fluvio lacustre en la margen derecha.....	59
Figura 6 Cerro Huaynaorcco.....	60
Figura 7 Cerro Huaynaorcco .....	61
Figura 8 Diagrama de barras de las unidades de sub paisaje de la cuenca Paucarbamba. ....	64
Figura 9 Diagrama circular de superficies de las unidades de Sub Paisaje.....	64
Figura 10 Vertiente de Montaña.....	65
Figura 10 Vertiente disectada. ....	66
Figura 10 Distribución porcentual de pendientes en la cuenca Paucarbamba.....	70
Figura 11 Gráfico de barras de distribución de las áreas de unidades fisiográficas en la cuenca Paucarbamba. ....	75
Figura 12 Cárcava de altiplanicie fluvio lacustre y planicie Fluvioaluvial, vista hacia el este..	78
Figura 13 Fondo de Valle de Altiplanicie Fluvio lacustre y colina baja, vista hacia el noroeste.	79
Figura 14 Llanura de Altiplanicie Fluvio lacustre, vista hacia el sur este. ....	80
Figura 15 Terraza alta, vista hacia el noreste.....	80
Figura 16 Vertiente de Altiplanicie Fluvio lacustre, vista hacia el noreste.....	81
Figura 19 Cerro Huayna Orcco, vista hacia el sur.....	82
Figura 18 Cima de colina denudacional, vista hacia el sur.....	83
Figura 19 Vertiente Colina, vista hacia el sureste. ....	84
Figura 20 Vertiente Colina disectada, vista hacia el noroeste. ....	84
Figura 21 Vertiente Conos coluviales, vista hacia el suroeste.....	85
Figura 22 Terraza de planicie fluvioaluvial. ....	86
Figura 25 Zanjas de infiltracion en vertientes de montaña con pendiente variable. ....	87
Figura 23 Llanura de altiplanicie fluvio lacustre. ....	88
Figura 24 Vertiente de colina baja denudacional empinado sedimentaria areniscas y lutitas..	89
Figura 25 Cuenca y elementos de superficie. ....	95
Figura 26 Comparación entre la forma de las cuencas. ....	97
Figura 27 Curvas Hipsométricas características.....	100
Figura 28 Curva Hipsométrica de la cuenca Paucarbamba. ....	100
Figura 29 Histograma de Frecuencias de la cuenca Paucarbamba.....	102
Figura 30 Perfil longitudinal de la cuenca Paucarbamba.....	102
Figura 31 - .....	104
Figura 32 Bloque de yeso de la formación de Maras.....	110
Figura 33 Se evidencia la formación Maras en la ladera intercalados caóticamente con lutitas marrones .....	110
Figura 34-Muestra Yeso Formación Maras.....	111
Figura 35 Formación Quilque lado izquierdo y Formación Maras lado derecho.....	112
Figura 36 Diaclasas en la formación Quilque .....	113
Figura 37 Muestra de mano M-1 de la formación Quilque coordenadas E N.....	114
Figura 38 Muestra de mano M-2 de la formación Quilque coordenadas E N.....	115
Figura 39 Muestra de mano M-3 de la formación Quilque coordenadas E N.....	116
Figura 40 Estructura de canales se observa un paleocanal de sedimentación.....	116
Figura 41 Levantamiento de columna estratigráfica en formación Quilque.....	117
Figura 42 Imagen satelital de la Ubicación de volcánico Rumicolca.....	117
Figura 43 Diatomeas en formación San Sebastián .....	118
Figura 44 Uso de suelos sobre Formación San Sebastián .....	119
Figura 45 Vista al NW del uso de suelos en parte Media Alta de Cuenca .....	119
Figura 46 Formación San Sebastián.....	120
Figura 47 Material Coluvio Aluvial parte Media Alta de Cuenca .....	120

Figura 48	Depósitos coluvio-aluviales .....	121
Figura 49	Depósito coluvial.....	122
Figura 50	Planos de laminaciones.....	135
Figura 51	Tendencia principal.....	135
Figura 52	Orientación de Planos de Estratificación.....	136
Figura 53	Tendencia de orientación de planos estratificación.....	137
Figura 54	Medidas de rumbos y buzamientos .....	138
Figura 55	Medición de Rumbo y Buzamiento .....	138
Figura 56	Estratos medidos Rumbo y Buzamiento .....	139
Figura 57	Medidas de Rumbos y Buzamiento .....	139
Figura 58	Grafica de Vector Regional 1.....	143
Figura 59	Grafica de Vector Regional 2.....	144
Figura 60	Histograma de precipitación para serie de tiempo estación Pisac. ....	146
Figura 61	Histograma de precipitación para serie de tiempo estación Urubamba.....	146
Figura 62	Histograma de precipitación para serie de tiempo estación Urubamba.....	147
Figura 63	Histograma de precipitación para serie de tiempo estación K'ayra. ....	147
Figura 64	Análisis de doble masa de estaciones en estudio.....	148
Figura 65	Análisis de doble masa de estación K'ayra vs estaciones de estudio.....	149
Figura 66	Histograma de precipitación media mensual. ....	155
Figura 67	Resultados para la prueba estadística de Mann-Kendall. ....	156
Figura 68	Ajustes de distribución de probabilidad del usado en software EASYFIT. ....	159
Figura 69	Clasificación de distribuciones para la estación Pisac. ....	160
Figura 70	Funciones de densidad de probabilidad e histograma. ....	161
Figura 71	Mapa de isoyetas para la zona de estudio y estaciones cercanas.....	167
Figura 72	Mapa de Polígonos de Thiessen zona de estudio y estaciones cercanas. ....	167
Figura 73	Acuífero Poroso .....	169
Figura 74	Acuífero Fisurado.....	170
Figura 75	Acuífero Karstico .....	170
Figura 76	Tipos de Acuíferos en sección ilustrativa.....	171
Figura 77	Modelo Conceptual.....	172
Figura 78	Coefficiente de Almacenamiento en Acuífero Confinado y Acuífero Libre .....	175
Figura 79	Caudal de Infiltración en Formación Maras .....	178
Figura 80	Caudal de infiltración en la Formación Maras .....	179
Figura 81	Caudal de Infiltración en Bloque Yeso Fracturado .....	180
Figura 82	Caudal de Infiltración en prueba a Fm Quilque .....	181
Figura 83	Caudal de Infiltración en Formación Quilque .....	182
Figura 84	Caudal de Infiltración realizada en la Fm Quilque.....	183
Figura 85	Caudal de Infiltración obtenida de ensayo realizado en la Fm San Sebastián .....	184
Figura 86	Caudal de Infiltración en la Formación San Sebastián .....	185
Figura 87	Caudal de Infiltración de la Formación San Sebastián .....	186
Figura 88	Caudal de Infiltración en depósitos Cuaternarios .....	187
Figura 89	Permeabilidad en diagrama de Barras .....	188
Figura 90	Permeabilidad Promedio Formaciones Parte Media Alta de Cuenca Paucarbamba.....	189
Figura 91	Transmisividades en diagrama de barras acorde a formación en parte media alta de la cuenca Paucarbamba .....	192
Figura 92	Transmisividad en promedio de las formaciones presentes en la parte media alta de la Cuenca Paucarbamba .....	192
Figura 93	Clasificación de agua según PIPER .....	198
Figura 94	Diagrama Triangular de composición de agua subterránea muestreada, PIPER. ....	199
Figura 95	Resistímetro acondicionados manualmente o de fabricación. ....	207
Figura 96	Configuración por el método de Wenner.....	208
Figura 97	Configuración por el método de Schlumberguer. ....	209
Figura 98	Disposición de Schlumberguer en campo. ....	210
Figura 99	Ubicación de puntos para SEV's. ....	213
Figura 100	Ventana para creación de SEV's.....	215

<b>Figura 101</b>	<b>Curva de resistividad en software IPI2WIN. ....</b>	<b>216</b>
<b>Figura 102</b>	<b>Perfiles georesistivos.....</b>	<b>217</b>
<b>Figura 103</b>	<b>Perfil de pseudoresistividad y de resistividad SEV's 04,03,02 y 01.....</b>	<b>219</b>
<b>Figura 104</b>	<b>Perfil de pseudoresistividad y de resistividad SEV's 09,08,07,06 y 05.....</b>	<b>222</b>
<b>Figura 105</b>	<b>Perfil de pseudoresistividad y de resistividad SEV's 10,09 y 04.....</b>	<b>225</b>
<b>Figura 106</b>	<b>Malla de elementos finitos de la representación del acuífero fisurado 2D. ....</b>	<b>227</b>
<b>Figura 107</b>	<b>Gráfico 3D del acuífero, se aprecia el nivel freático y las cargas hidráulicas.....</b>	<b>228</b>
<b>Figura 108</b>	<b>Gráfico 3D del acuífero, se aprecia el nivel freático y las cargas hidráulicas.....</b>	<b>228</b>
<b>Figura 109</b>	<b>Volumen total, volumen de vacíos y volumen de agua calculado por el software. ....</b>	<b>229</b>
<b>Figura 110</b>	<b>Permeabilidad en diagrama de Barras .....</b>	<b>231</b>
<b>Figura 111</b>	<b>Permeabilidad Promedio Formaciones Parte Media Alta de Cuenca Paucarbamba.....</b>	<b>233</b>
<b>Figura 112</b>	<b>Transmisividades en diagrama de barras acorde a formación en parte media alta de la cuenca Paucarbamba.....</b>	<b>234</b>
<b>Figura 113</b>	<b>Transmisividad en promedio de las formaciones presentes en la parte media alta de la Cuenca Paucarbamba.....</b>	<b>234</b>
<b>Figura 114</b>	<b>Diagrama Triangular de composición de agua subterránea muestreada, PIPER.....</b>	<b>235</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación política de la Quebrada Paucarbamba .....	16
Tabla 2 Ubicación geográfica de la Cuenca Paucarbamba.....	16
Tabla 3 Ruta de accesibilidad a la zona de estudio .....	19
Tabla 4 Unidades de Gran Paisaje. ....	53
Tabla 5: Unidades de paisaje .....	57
Tabla 6 Unidades de Sub-paisaje.....	63
Tabla 7 Clasificaciones de pendiente.....	68
Tabla 8 Clasificaciones de pendiente.....	69
Tabla 9 Clasificación de los procesos agradacionales, según agente responsable. ....	71
Tabla 10 Unidades Fisiográficas de la cuenca Paucarbamba.....	73
Tabla 11 Unidades Fisiográficas identificadas en la cuenca Paucarbamba. ....	76
Tabla 12 Unidades Geomorfológicas en la cuenca Paucarbamba.....	89
Tabla 13 Elementos de superficie y distancia .....	95
Tabla 14 Valores de forma de Horton.....	96
Tabla 15 Valores de coeficiente de compacidad (Kc).....	97
Tabla 16 Altitud media de la cuenca. ....	99
Tabla 17 Tiempo de concentración.....	103
Tabla 18 Descripción de Muestra 01 Formación Maras .....	111
Tabla 19 Descripción macroscópica de muestra 01 formación Quilque.....	113
Tabla 20 Descripción macroscópica de muestra 02 formación Quilque.....	114
Tabla 21 Descripción macroscópica de Muestra 03 formación Quilque.....	115
Tabla 22 Laminaciones Medidas en Campo .....	134
Tabla 23 Medida de Estratos Rb y Bz.....	136
Tabla 24 Estaciones Meteorológicas empleadas en el estudio. ....	141
Tabla 25 Índices de correlación y vector regional. ....	144
Tabla 26 Índices de correlación y vector regional. ....	145
Tabla 27 Resultados de análisis estadístico de salto y tendencia para la estación Calca. ....	156
Tabla 28 Resultados de análisis estadístico de salto y tendencia para la estación Pisac. ....	157
Tabla 29 Resultados de análisis estadístico de salto y tendencia para la estación Urubamba. ....	157
Tabla 30 Resultados de análisis estadístico de salto y tendencia para la estación Urubamba corregido. ....	158
.....	158
Tabla 31 Distribuciones de probabilidad para hidrología.....	160
Tabla 32 Registro de datos de precipitación para la estación Calca. ....	162
Tabla 33 Registro de datos de precipitación completos y extendidos para la estación Calca. ....	164
Tabla 34 Precipitaciones promedio anual.....	166
Tabla 35 Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Maras .....	178
Tabla 36 Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Maras .....	179
Tabla 37 Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Maras(Bloque de Yeso).....	180
Tabla 38 Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Quilque.....	181
Tabla 39 Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Quilque.....	182
Tabla 40 Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Quilque.....	183
Tabla 41 Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en Depósito Aluvial Coluvial.....	186
Tabla 42 Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en los depósitos cuaternarios.....	187
Tabla 43 Resumen de Permeabilidades por cada Formación.....	188
Tabla 44 Potencial de hidrogeniones de las muestras respectivas.....	195
Tabla 45 Temperatura de las aguas muestreadas .....	196
Tabla 46 Conductividades de los muestreos de Agua .....	197
Tabla 47 Tabla de sistematización de evaluación de agua subterránea, Inventario de agua .	200
Tabla 48 Clasificación de Agua para Riego de la muestra M-01L.....	201
Tabla 49 Clasificación de Agua para Riego de la muestra M-03L.....	201
Tabla 50 Clasificación de Agua para Riego de la muestra M-06L.....	202
Tabla 51 Clasificación de los Métodos de Prospección Geofísica.....	204

<b>Tabla 52 Resistividades por tipo de material.....</b>	<b>206</b>
<b>Tabla 53 Aplicaciones de los tipos de Sondeo Eléctrico Vertical.....</b>	<b>210</b>
<b>Tabla 54 Formato para la toma de datos en campo. ....</b>	<b>212</b>
<b>Tabla 55 Elementos de superficie y distancia .....</b>	<b>230</b>
<b>Tabla 56 Formato SEV 01.....</b>	<b>249</b>
<b>Tabla 58 Formato SEV 02.....</b>	<b>250</b>
<b>Tabla 59 Formato SEV 03.....</b>	<b>251</b>
<b>Tabla 60 Formato SEV 04.....</b>	<b>252</b>
<b>Tabla 61 Formato SEV 05.....</b>	<b>253</b>
<b>Tabla 62 Formato SEV 06.....</b>	<b>254</b>
<b>Tabla 63 Formato SEV 07.....</b>	<b>255</b>
<b>Tabla 64 Formato SEV 08.....</b>	<b>256</b>
<b>Tabla 65 Formato SEV 08' .....</b>	<b>257</b>
<b>Tabla 66 Formato SEV 09.....</b>	<b>258</b>
<b>Tabla 67 Formato SEV 10.....</b>	<b>259</b>

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1.1 Ubicación

#### Ubicación Política

La cuenca Paucarbamba está ubicada en el Distrito de Maras, Provincia de Urubamba, departamento de Cusco, con una altura variable de 2850 a 3440 msnm.

**Tabla 1**

*Ubicación política de la Quebrada Paucarbamba*

Departamento	Cusco
transProvincial	Urubamba
Distrito	Maras

**Nota.** Fuente: INEI,2001

#### Ubicación Geográfica

La zona de estudio se encuentra en las siguientes coordenadas UTM de la zona 18L.

**Tabla 2**

*Ubicación geográfica de la Cuenca Paucarbamba*

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM		Altitud media
Latitud sur	Longitud oeste	Norte	Este	msnm
-13.31828758	-72.19417891	8525950	803984	3333

**Nota.** Fuente: Elaboración propia

#### Ubicación Hidrográfica

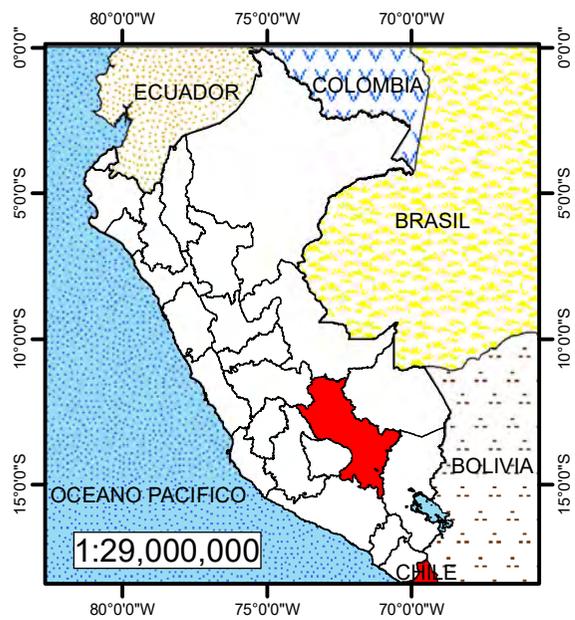
### 1.2 Delimitación

### 1.3 Accesibilidad

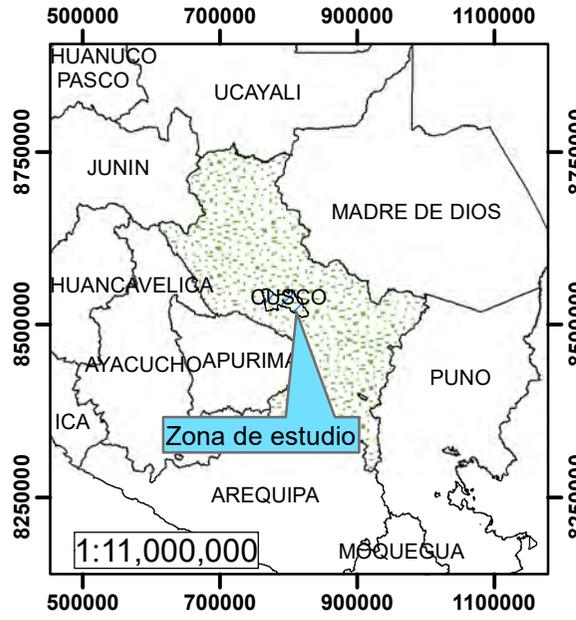
La zona de estudio y la ciudad del cusco están separados a una distancia aproximada de 50 km; el acceso desde la ciudad de Cusco es mediante la carretera asfaltada siguiendo la ruta Cusco-Chincheros-Maras, luego mediante carretera afirmada hacia el sitio arqueológico de Moray y finalmente prosiguiendo por el desvío de trocha carrozable de 1.5 km aproximado en dirección norte siguiendo la trocha hacia la comunidad de Paucarbamba, lugar donde se encuentra la quebrada del mismo nombre.

# MAPA DE UBICACIÓN

**LÍMITE INTERNACIONAL**



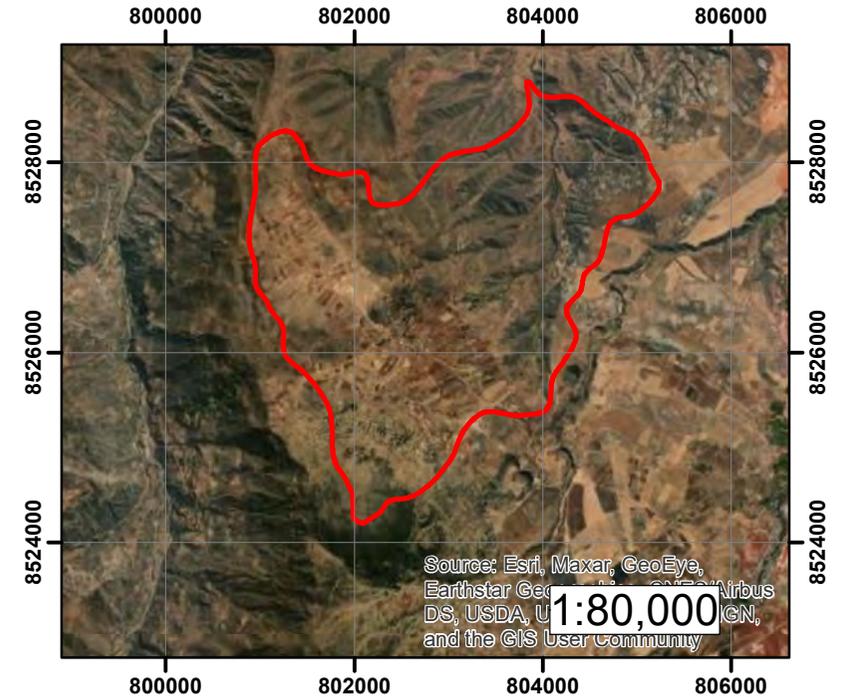
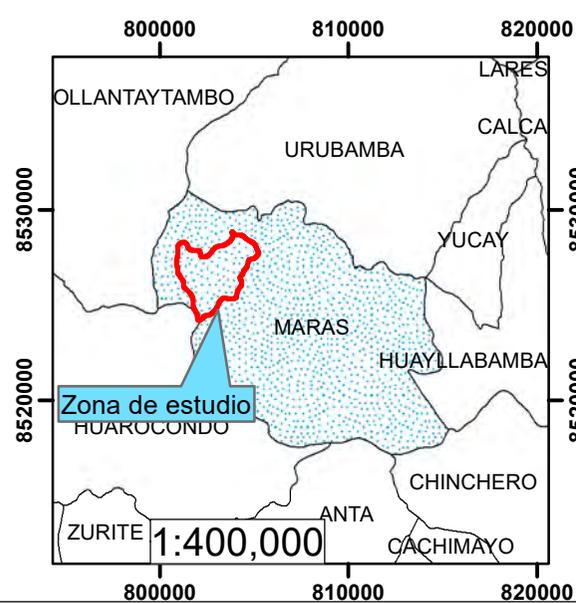
**LÍMITE DEPARTAMENTAL**



**LÍMITE PROVINCIAL**



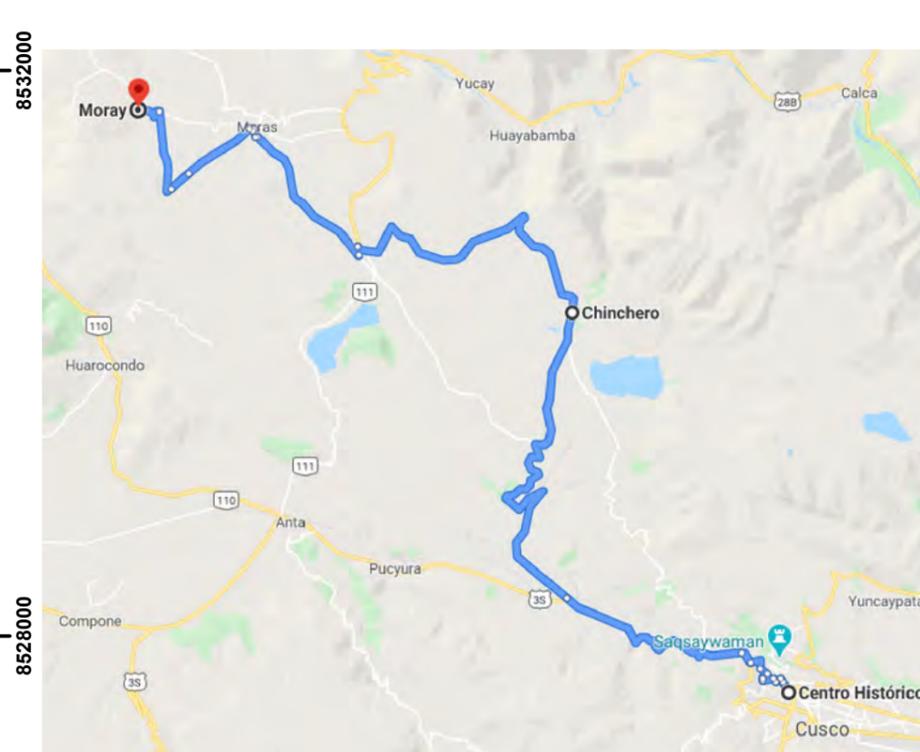
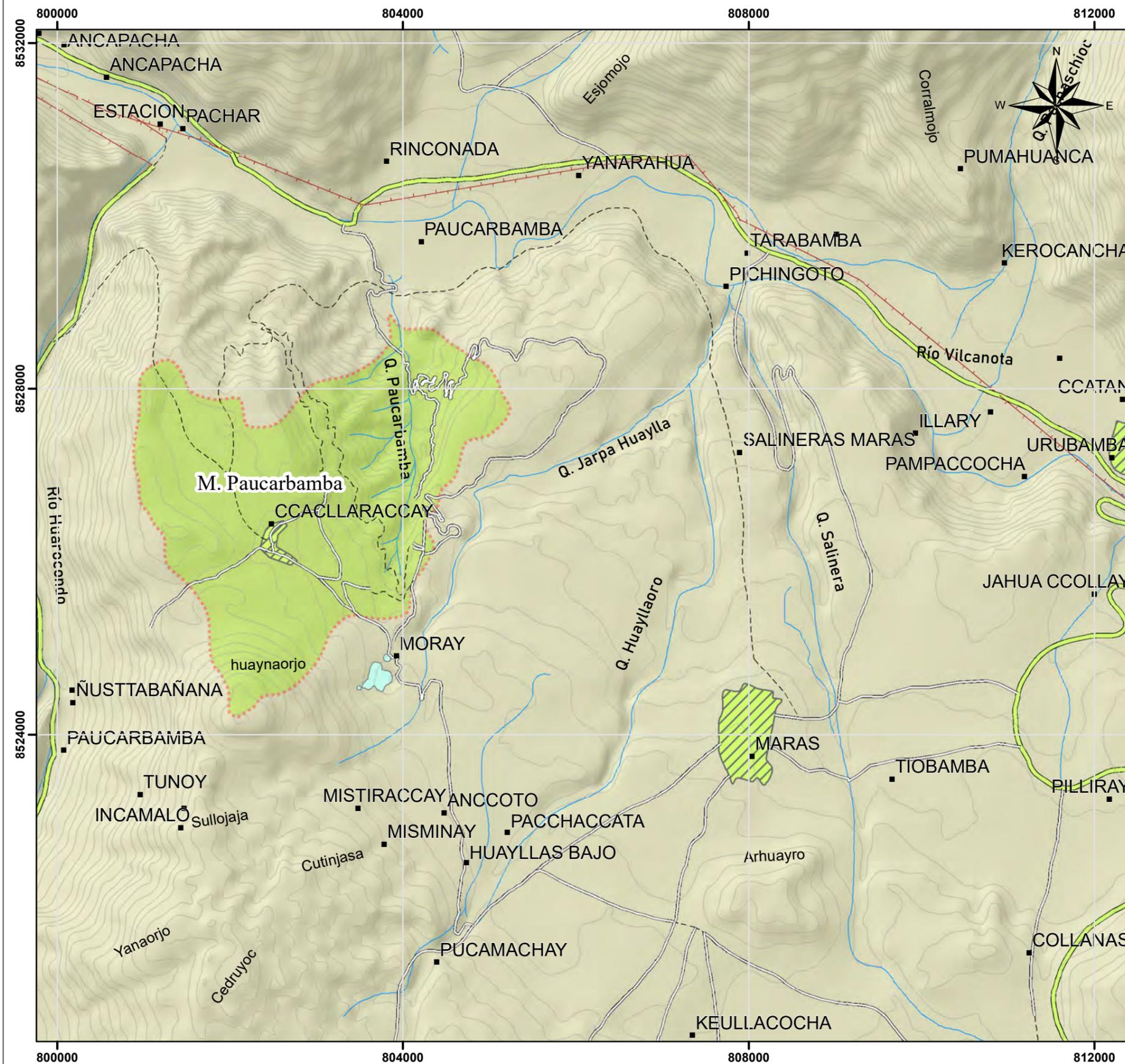
**LÍMITE DISTRITAL**



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984

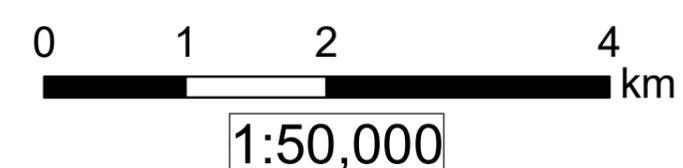
<b>"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLÓGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"</b>		
<b>PLANO DE UNIDADES DE UBICACION</b>		
<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras	  <b>PU 01</b>
<i>Escala Indicada</i>		<i>Fecha: Marzo del 2023</i>

# MAPA DE ACCESIBILIDAD



### Leyenda

topo_100	dren_paucar
Camino de Herradura	Pueb_Pol
Linea Ferrea	Microcuenca
Trocha Carrozable	Dolinas
Via Asfaltada	



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984

**"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"**

**PLANO ACCESIBILIDAD**

<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras		<b>PA 01</b>
<i>Escala Indicada</i>		<i>Fecha: Marzo del 2023</i>	

**Tabla 3***Ruta de accesibilidad a la zona de estudio*

Tramo	Vía	Km	Tiempo (horas)
Cusco – Maras	Asfaltado	41.4	1.02
Maras - Moray	Afirmado	8.1	0.23
Moray–Comunidad Paucarbamba (km 1.5)	Trocha	1.5	0.1
Quebrada Paucarbamba	Camino herradura	0.28	0.16
Total		51.28	1.51

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia

## 1.4 Planteamiento del problema

### Descripción del Problema

En el distrito de Maras se encuentra la quebrada de Paucarbamba, esta zona está ubicada a 1.5 km del sitio arqueológico de Moray. El ámbito de estudios carece del líquido elemento, pero existen indicios de agua subterránea en el eje de la quebrada debido a la presencia de ojos de agua, por lo que se hace necesario la evaluación de fuentes de agua subterráneas en el caso de implementar actividad alguna en las inmediaciones de esta quebrada.

En el fondo o eje de la quebrada Paucarbamba existen ojos de agua, bofedales y pequeña escorrentía de agua superficial procedentes de estos bofedales, asimismo se evidencia el contacto de intercalación de areniscas y lutitas con yesos de la formación maras lo que da evidencias de la presencia de acuíferos y estructuras que permiten el afloramiento en forma de manantes.

Debido a la no existencia de fuentes de agua superficial, en cantidades explotables, no es posible el desarrollo de actividades que involucren su uso, lo que conlleva a la pérdida de importantes fuentes de ingreso económico para los propietarios y pobladores de las zonas aledañas y en general para el distrito de Maras.

Parte de la problemática álgida, es la geología en la cuenca con la presencia de exceso de materiales con característica fina, producto de su origen, tal es el caso de la Formación Maras con la presencia de material fino (lutitas) y la formación San Sebastián con materiales limo arcillosos, estos materiales se comportan de manera impermeable la que no permite el almacenamiento del recurso hídrico.

Es en este sentido que la empresa consultora Unu Kamachiq SAC conjuntamente con los autores de la presente tesis, realizan el estudio hidrogeológico y geofísico para la exploración de agua subterránea en este sector del distrito de Maras.

En tal sentido el estudio geológico, hidrogeológico y geofísico reforzaría los estudios de exploración de agua subterránea que permitiría conocer los posibles métodos para un adecuado uso de los recursos hídricos, tomando principal interés en la delimitaciones y dinámica de funcionamiento de los acuíferos y la posibilidad de implementar proyectos de explotación de aguas subterránea y recarga artificial de acuíferos.

### **Formulación del Problema**

¿Cuáles son las características geológicas, hidrogeológicas y geofísicas favorables que permiten un almacenamiento del recurso hídrico en la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba?

### **Problemas Específicos.**

¿Cuáles son las características geológicas favorables, en la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, para almacenar recurso hídrico con fines de exploración de agua subterránea?

¿Cuáles son las características hidrogeológicas favorables, en la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, para almacenar recurso hídrico con fines de exploración de agua subterránea?

¿Cuáles son las características geofísicas favorables, en la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, para almacenar recurso hídrico con fines de exploración de agua subterránea?

## **1.5 Objetivos**

### **Objetivo General**

Definir las características geológicas, geofísicas e hidrogeológicas de la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba con fines de exploración del agua subterránea.

### **Objetivos específicos.**

- Caracterizar las unidades geológicas.
- Identificar las unidades hidrogeológicas, realizar el modelo conceptual y determinar las características hidráulicas del acuífero.
- Determinar las características geo resistivas del subsuelo y el o los acuíferos.

## 1.6 Hipótesis

### Hipótesis General

El estudio de las características geológicas, de las particularidades geofísicas y los rasgos hidrogeológicos, de la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, son determinantes en la formación de estructuras favorables para el almacenamiento de agua subterránea.

### Hipótesis específico.

- Las características de las unidades geológicas presentes por su litología, su disposición y su fracturamiento son favorables para el almacenamiento de agua subterránea
- Las características de las unidades hidrogeológicas presentes por su permeabilidad y su transmisividad son favorables para el almacenamiento de agua subterránea.
- Las características geofísicas presentes son favorables para el almacenamiento de agua subterránea.

## 1.7 Justificación

Justificación a nivel personal: Mediante el desarrollo del presente documento de investigación; permitiría al tesista adquirir conocimientos y técnicas para la exploración del agua subterránea, los métodos de explotación y finalmente optar por el título profesional de Ingeniero Geólogo.

Justificación Teórica: Se debe considerar al agua subterránea como elemento de suma importancia debido a que, es una alternativa frente al cambio climático que nos afecta hoy en día, es usada como alternativa frente a la escasez de agua en lugares donde no satisface el agua superficial, es la principal reserva de agua dulce tanto en importancia como en calidad y se considera su ubicación en el subsuelo como aislante a diferentes focos contaminantes; estas características conllevan al estudio en la búsqueda de este elemento de vital importancia.

Justificación Técnica: La presente tesis se desarrolla dentro de la empresa consultora Unu Kamachiq SAC, empresa que cuenta con equipos técnicos y personal capacitado para realizar las diferentes etapas del estudio.

Para realizar un adecuado estudio hidrogeológico es necesario el levantamiento de información geofísica, en este caso perfiles geoeléctricos, con la finalidad de identificar y estimar, la existencia, ubicación y profundidad del agua subterránea.

Este trabajo de investigación servirá como referente a la comunidad investigadora geológica e hidrogeológica como un antecedente en la exploración de agua subterránea en la región.

## **1.8 Materiales, equipos y herramientas**

### **Materiales**

Materiales de campo:

Imagen Satelital, cartas nacionales, tablero, fichas de campo para levantamiento geofísico, lápiz de color, porta minas, papel milimetrado, bolsas de muestras para suelo, ácido muriático al 10 %, lupa 15-20x, rayador, protactor, poncho de lluvia.

Materiales de Gabinete:

Computadora, laptop, impresora, plotter, escaner, fotocopidora.

### **Equipos**

Equipos de campo:

Brújula, GPS, resistivímetro, electrodos, cronometro, cinta métrica de 50 metros, lector multiparámetro de agua, wincha de mano, comba, picota, cincel, tubo de PVC 2" x 50 cm.

Equipos de gabinete:

Computadoras, laptop, impresora, plotter, escáner, fotocopidora.

### **Herramientas**

Herramientas de Gabinete:

Software de SIG, Software AutoCAD, Programa SAS Planet, Software Modflow, Programa Google Earth Pro, Programas en Excel y Microsoft Office.

Herramientas de campo:

tubo de PVC 2" x 50 cm, comba de 10 libras, cincel.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco Referencial Antecedentes

#### 2.1.1 Antecedentes a nivel local

##### *Primer antecedente local*

Blas Herrera & Canahuiri Cruz (2018) en su investigación proponen objetivos, la determinación de parámetros climáticos, características geológicas - estructurales, identificación de fuentes de agua superficial y su análisis fisicoquímico, identificación de unidades hidrogeológicas, proponer un balance hídrico (Blas Herrera & Canahuiri Cruz, 2018).

En la cuenca Tambuque existe una precipitación media anual de 773.85 mm/año y una temperatura media anual de 9.94 grados °C, en sentido geomorfológico se ubica en el altiplano en montañas estructurales de rocas sedimentarias predominando pendientes del tipo empinadas ocupando un área de 506.77 Ha del área de la cuenca. A nivel Geológico se identificó 12 unidades geológicas desde la formación Maras hasta los depósitos cuaternarios afectados por las fallas regionales Miska – Araipallpa y Yaurisque – Pappres con dirección NW – SE. Se tiene 72 manantes dentro y fuera de la cuenca donde el mamante de más caudal es el de Tirina 1 con 4lts/seg (Blas Herrera & Canahuiri Cruz, 2018).

Además por alto grado de fracturamiento se tienen unidades hidrogeológicas fisuradas de las formaciones Kayra, Soncco y Puquin que ocupan un área total de 792.71 Ha del área total de la cuenca Tambuque de acuerdo a los análisis fisicoquímicos de los manantes Tirina 1, Collpapata 2 y Ñayqui 2 de rocas areniscosas son de tipo Cálctica Bicarbonatada (Blas Herrera & Canahuiri Cruz, 2018).

*Este antecedente nos sirve de referencia para utilizar formatos de recolección de muestreo y presentación de resultados de manera acuecuada de la hidroquímica muestreada y evaluada.*

### **Segundo antecedente local**

Calderon & Quillahuaman (2019) El estudio se centró en las cuencas Santo Domingo - Acopia y Huayrachapi - Miskiunu, situadas en el distrito de Acopia, provincia de Acomayo, en el departamento del Cusco. Estas cuencas se caracterizan por tener pendientes moderadamente empinadas en un 32.23% en la cuenca Santo Domingo - Acopia y pendientes empinadas en un 26.22% en la cuenca Huayrachapi - Miskiunu. La fisiografía destaca diversas subunidades desde vertientes de montaña alta muy empinada hasta terrazas bajas ligeramente inclinadas. La geomorfología predominante es el paisaje de montaña alta, representando un 39.565% en la cuenca Santo Domingo - Acopia y un 34.418% en la cuenca Huayrachapi - Miskiunu. En términos geológicos, en la región afloran rocas desde el Siluro Devoniano representado por la Formación Ananea, hasta el Cuaternario representado por depósitos fluviales, aluviales, coluviales y fluvio-glaciares recientes. Estructuralmente, la zona de estudio está relacionada con el dominio tectónico del Altiplano Occidental y está influenciada por varias fallas regionales, como el sistema de fallas Cusco Lagunillas-Mañazo, la Falla Puca Puca, el sistema de fallas Langui-Layo-Acomayo y el sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri. En términos climáticos, las cuencas Santo Domingo - Acopia y Huayrachapi - Miskiunu presentan precipitaciones medias anuales entre 841.09 mm y 817.18 mm, respectivamente, y temperaturas medias entre 8.62 y 9.73 °C. El estudio hidrogeológico realizado en la zona identificó varias unidades hidrogeológicas, incluidos los acuíferos porosos (Anta, Mitu y aluviales), el acuífero Kárstico (Arcurquina) y el acuífero fisurado (intrusivo diorítico), que almacenan y transmiten la mayor cantidad de agua. Además, se observaron cambios en el recorrido de las aguas subterráneas asociados a manifestaciones estructurales, morfología y permeabilidad de las formaciones geológicas.

Se realizaron métodos indirectos, como el Sondeo Eléctrico Vertical, que permitieron identificar sectores hídricamente aprovechables, tanto en la cuenca Santo Domingo - Acopia como en la cuenca Huayrachapi - Miskiunu.

El balance hídrico mostró un déficit de agua en los meses de mayo, junio, octubre y noviembre para el sector agropecuario y en todos los meses para el consumo humano. Para abordar este déficit, se propusieron acciones de recarga artificial mediante zanjas de infiltración y reforestación, así como la implementación de amunas, una propuesta rentable y práctica para reducir el impacto ambiental. Con estas acciones, se podría cubrir el déficit existente en ambos sectores (Calderon Yopez & Quillahuaman Muñoz, 2019).

*Este antecedente es un referente en la cartografía y modo de presentación de los mapas geológicos e hidrogeológicos.*

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

#### **Primer antecedente nacional**

Lozano Ventura & Antón Quiroz en el año (2021) indican que ante la necesidad de obtener una fuente de agua vital, el estudio se propone identificar las características hidrogeológicas del acuífero y analizar la viabilidad de perforar pozos tubulares. Para recopilar información, se llevaron a cabo varios estudios, incluyendo prospección geofísica, hidrodinámica subterránea, hidrogeoquímica y balance hídrico. Los resultados obtenidos de estos estudios son los siguientes: De los 9 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) realizados, se ha determinado que los pozos pueden ser perforados en las áreas cercanas a los SEV N° 02, 06 y 09. La zona de estudio se encuentra ubicada sobre sedimentos poco permeables, específicamente eólicos y aluviales del acuífero libre. No se ha detectado la roca basamento, lo que sugiere que se podría encontrar después del último horizonte (capa de estrato de arcilla) a una profundidad de aproximadamente 200 metros. La conductividad eléctrica del agua muestra un valor de 1260.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que la clasifica como "Agua con riesgo de salinidad ALTA" con una clasificación de C3. Esta agua puede ser utilizada para el riego de suelos bien drenados, pero requeriría grandes volúmenes de agua para lavar el suelo y sería adecuada para cultivar plantas que toleren la salinidad.

Los valores de los parámetros hidrodinámicos son los siguientes: Tasa de transmisión (T) = 137.8 m<sup>2</sup>/día, Coeficiente de permeabilidad (K) = 2.05 m/día y Volumen específico ( $\mu$ ) =  $3 \times 10^{-3}$  (Lozano Ventura & Antón Quiroz, 2021, pág. 7)

*Este antecedente nos muestra la metodología Slumberger que se usará en la investigación, modo de disposición de electrodos que se colocará en los puntos de evaluación de Sondeo Eléctrico Vertical.*

### **Segundo antecedente nacional**

Lizano Mera en el año (2018) El objetivo principal de la tesis es determinar la presencia de recursos hídricos subterráneos en el terreno de la asociación Los Libertadores, situada en el Distrito de Castilla, Provincia y Departamento de Piura. Para lograr este propósito, se recopila inicialmente toda la información relevante sobre las características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e hidrogeológicas a nivel regional. Este análisis permite comprender la evolución de la cuenca sedimentaria e hidrográfica donde se encuentra la zona de interés para la investigación.

Una vez clasificada y estudiada la información, se procede a realizar investigaciones de campo en la zona de interés. Se llevan a cabo sondajes eléctricos verticales, que son un método geofísico indirecto, tal como se describe en el capítulo correspondiente de la tesis. Estos sondajes permiten determinar las características litológicas de las diferentes capas que conforman el subsuelo en la zona, alcanzando la profundidad requerida para la investigación (Lizano Mera, 2018, pág. 11).

*Este antecedente nos sirve por la calificación hidrogeoquímica y los criterios en los que se basan para emitir sus conclusiones.*

### **2.1.3 Antecedentes Internacionales**

#### **Primer antecedente Internacional**

Jiménez Reyes & Rodríguez Cruz en el año (2013) En un artículo de investigación, se señala que el ambiente turístico popular y el clima privilegiado del trópico, junto con la estabilidad económica de

Cuba, han llevado a que la actividad turística se convierta en una de las principales fuentes de ingresos, especialmente en la provincia de Sancti Spiritus, municipio de Trinidad. Sin embargo, esta situación ha tenido un impacto en los recursos hídricos subterráneos, ya que gran parte de la demanda de agua se satisface mediante la extracción de aguas subterráneas. Con el objetivo de encontrar una fuente de abastecimiento de agua de calidad y suficiente cantidad para la zona turística de Trinidad, se seleccionó el sector de la localidad de Algaba en las riberas del Río Agabama, donde existen depósitos aluviales con características favorables para la acumulación de aguas subterráneas. Para complementar los estudios hidrogeológicos, se utilizó la geofísica aplicada, que permitió una buena delimitación de la estructura del acuífero, la potencia aluvial sobre el impermeable, la estimación de la profundidad y el espesor del acuífero, así como la zonificación y modelado del mismo. Los métodos geofísicos empleados fueron: Sondeo Eléctrico Vertical, Imágenes Eléctricas y Resistividad con salinización. La interpretación conjunta de estos métodos permitió estimar las características estructurales del acuífero y establecer relaciones entre los parámetros hidrogeológicos y las propiedades geoeléctricas de estos depósitos aluviales. En conclusión, la interpretación conjunta de las técnicas geofísicas superficiales y de pozo confirmó que las características geológicas, hidrogeológicas y los parámetros hidrogeológicos de la región son muy favorables para la acumulación y explotación de aguas subterráneas. Además, se observó la afluencia de aguas hacia las calas en la parte superior, lo que refleja la peculiaridad de los acuíferos aluviales y su estrecha relación hidráulica con el río. La evaluación integral de las características hidrogeológicas de la zona, especialmente la transmisividad y permeabilidad, se puede estimar a partir de la resistencia transversal unitaria (Jiménez Reyes & Rodríguez Cruz, 2013).

***Este antecedente nos explica los resultados de la relación entre los parámetros geoeléctricos y los parámetros hidrogeológicos.***

### **Segundo antecedente Internacional**

PEREZ LIMACHE en el año (2011) llevaron a cabo su estudio en el Departamento de Oruro, Provincia Sebastián Pagador, Población Santiago de Huari, Bolivia, donde las fuentes de agua superficial no son suficientes para abastecer el consumo humano de la población. Por esta razón, se decidió recurrir a fuentes subterráneas. La Empresa MAYA Construcción y Servicios, en colaboración con esta tesis, realizó estudios hidrogeológicos integrales con el objetivo de obtener resultados óptimos y aprovechar las aguas subterráneas. Estos estudios incluyeron el análisis geológico, geomorfológico, hidrológico, hidrogeológico y geofísico, utilizando el método de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) para determinar áreas adecuadas para la perforación de pozos productores de aguas subterráneas. Los estudios hidrogeológicos integrales revelaron la presencia de litologías, geoformas y espesores adecuados para el almacenamiento de aguas subterráneas. En base a estos resultados, se determinó la perforación de tres pozos a profundidades de 50, 48 y 50 metros, utilizando el método de perforación por rotación normal. Durante la perforación, se confirmó la litología estimada en los estudios geofísicos, que consistía en gravas y arenas. Para limpiar los pozos, se utilizó el método de Air Lift, el cual resultó ser efectivo para este propósito. Mediante pruebas de bombeo a caudales escalonados y constantes, se obtuvieron datos satisfactorios sobre las características de los pozos, como transmisividad, conductividad hidráulica, radios de influencia, caudales y su funcionamiento. Las muestras de agua analizadas en laboratorio según la Norma Boliviana (NB512) demostraron que son aptas para el consumo humano.

La investigación demostró que los estudios hidrogeológicos integrales son aplicables de manera efectiva en áreas con materiales de granulometría relativamente gruesa y geoformas de origen fluvial. La perforación de pozos para producir aguas subterráneas resultó ser un método efectivo para paliar el déficit de agua para el consumo humano en el corto, mediano y largo plazo de la población. (PEREZ LIMACHE, 2011, pág. 18)

*Este antecedente nos muestra que los estudios hidrogeológicos son aplicables de manera satisfactoria en materiales de granulometría relativamente gruesa y geoformas de origen fluvial, sirve de referente puesto que, la quebrada de la cuenca Paucarbamba está compuesta de materiales coluvio aluviales de material grueso.*

## **2.2 Marco conceptual**

### **2.2.1 Geomorfología:**

Es la disciplina derivada de la geografía que tiene como objeto el estudio de las formas del relieve terrestre, desde un enfoque interpretativo con el fin de describir y analizar las causas que han determinado los diferentes procesos y formas finales del paisaje.

### **2.2.2 Fisiografía**

Según el estudio de Hugo Villota (1997) donde explica una aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno, además de denotar y definir la geomorfología describe a la fisiografía como el estudio de la litosfera acompañado de aspectos referentes al agua, clima y seres vivos. (Villota,1997)

### **2.2.3 Parámetros Geomorfológicos**

Los parámetros geomorfológicos de una cuenca se definen a través de las características morfométricas expresados en valores numéricos hallados mediante ecuaciones matemáticas, estas características definen el comportamiento del ciclo hidrológico, en la que una cuenca hidrográfica es parte. (Ibáñez et al., 2005)

### **2.2.4 Geología**

Son diversos los autores y estudios acerca de la geología que desde tiempos antiguos definen como el estudio o comprensión del planeta tierra, Tarbut y Lutgens (2005) en su libro ciencias de la tierra definen desde diferentes puntos de vista teniendo una delimitación como el estudio de los materiales que componen la tierra y los procesos originados en la superficie terrestre e interior del planeta, además de la evolución de la tierra a lo largo de su historia. (Tarbut y Lutgens, 2005)

### **2.2.5 Dominio Tectónico**

El concepto de dominio tectónico hace referencia a un determinado sector o área geológica con rasgos similares de evolución tectónica relacionando observaciones y mediciones de escala macro, escala normal y microscópica, adicionados a rasgos estructurales como son los rumbos, buzamientos, plegamientos, aspectos litológicos, grados metamórficos y secuencia tectónica. (Carlotto et al.,2011)

### **2.2.6 Hidrología**

Villón denota a la Hidrología como la ciencia natural enfocada al estudio de la dinámica del agua teniendo aspectos relevantes como la ocurrencia, circulación y la distribución a lo largo de la superficie y la relación con sus propiedades físicas, químicas, así como con el medio ambiente y los seres vivos que la conforman. (Villón Béjar,2002)

### **2.2.7 Hidrogeología o Hidrología Subterránea**

“La hidrogeología es una ciencia que estudia tanto el origen como la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, ¡su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas) ; así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación.” (Mijailov, 1989)

### **2.2.8 Acuífero. -**

Un acuífero es definido como un estrato, formación o unidad geológica que caracteriza su porosidad y permeabilidad, capaz de almacenar y transmitir agua a través de sus poros, diaclasas o fracturas. Permite que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para satisfacer a sus necesidades. (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1976).

### **2.2.9 Clasificación de Acuíferos**

Desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, es clasificada en los siguientes grupos (Martínez Alfaro, Martínez Santos, & Castaño Castaño, 2006)

- Acuíferos, rocas que almacenan y transmiten agua en cantidades significativas.
- Acuitardos, rocas que almacenan agua y la transmiten lentamente.
- Acuieludos, rocas con una capacidad de almacenamiento apreciable, pero con capacidad de transmisión prácticamente nula.

- Acuífugos, rocas que ni almacenan ni transmiten agua.

### 2.2.10 Tipos de acuíferos

Esta clasificación según la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos es la más importante, en efecto son los siguientes:

#### 2.2.10.1 Acuíferos libres no confinados o freáticos. -

Son aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y, por lo tanto, a presión atmosférica. En la figura 26 muestra el acuífero B es de tipo libre. En estos acuíferos al perforar pozos que los atraviesen total o parcialmente la superficie obtenida por los niveles del agua de cada pozo forma una superficie real (superficie freática). (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1983)

#### 2.2.10.2 Acuíferos Cautivos Confinados o a Presión. -

En estos acuíferos el agua está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica, y ocupa el total de la porosidad de la formación geológica que la contiene, por ende, saturándola completamente. Por ello, durante la perforación de pozos en este tipo de acuíferos, al atravesar el techo del mismo se observa un ascenso muy rápido del nivel del agua hasta estabilizarse en una determinada posición. De acuerdo con éste y la posición del nivel topográfico de la boca del pozo, han de considerarse pozos surgentes o fluyentes aquellos en los cuales el nivel piezométrico está situado a cota superior de la boca del pozo y simplemente artesianos o a presión a los pozos en el mismo acuífero, pero cuyo nivel piezométrico quede por debajo de la superficie topográfica en los alrededores del mismo (fig. 26, pozos I y 2). Así pues, estos acuíferos poseen una superficie piezométrica ideal, que puede materializarse considerando todos los niveles que alcanzaría el agua en sendas perforaciones distribuidas por el acuífero equivalentes a la altura piezométrica del agua en el acuífero en la vertical de cada punto. (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1983)

#### 2.2.10.3 Acuíferos semicautivos o semiconfinados. -

Pueden considerarse como un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que el muro (parte inferior) y/o el techo (parte superior) que los encierra no sea totalmente impermeable sino un acuitardo, es decir un material que permita una filtración vertical del agua, muy lenta, que alimente el acuífero principal en cuestión, a partir de un acuífero o misa de agua situada encima o debajo del mismo. Como es lógico, el paso vertical de agua es sólo posible cuando existe una diferencia de

potenciales entre ambos acuíferos (el que recarga y el recargado) y puede hacerse en uno u otro sentido, e incluso variar con el tiempo según sea la posición relativa de los niveles piezométricos de los mismos. (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1983)

### 2.2.11 Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K)

La manera como esos poros están intercomunicados entre sí define lo que se denomina *permeabilidad o conductividad hidráulica*, que mide la "facilidad" del agua para circular por la formación geológica. Lo mencionado significa que un material puede tener porosidad muy alta (Arcillas) y sin embargo su permeabilidad ser nula, ya que los poros no están intercomunicados. ( Vélez Otálvaro, 1999).

### 2.2.12 Transmisividad

La transmisividad es definida como el caudal de agua, que pasa por una unidad de anchura del acuífero bajo un gradiente unitario:

$$T = K * b \dots \left(\frac{m^2}{día}\right)$$

T= Transmisividad (m<sup>2</sup>/día)

K= Permeabilidad (m/día)

b= Ancho del Acuífero (m)

### 2.2.13 Origen y distribución del agua subterránea

La explicación del origen del agua que ocupa los embalses subterráneos es sencilla. El clima ha variado a lo largo de los períodos geológicos, pero no ha habido ninguna tendencia clara de cambio en los últimos milenios. Los datos históricos, climatológicos y geológicos coinciden en que el clima no ha cambiado sustancialmente en los últimos 8000 años (Nace, 1969, pág. 286).

Este dato es de mucho interés, pues un sencillo cálculo va a permitir demostrar que los embalses subterráneos de todas las regiones que no estén bajo condiciones áridas, tienen que estar saturados de agua, "al menos hasta el nivel de los manantiales que actúan a modo de aliviaderos del embalse". (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1983)

En efecto, si se supone una lluvia media de 500 mm/año y una infiltración eficaz de sólo el 5 % , resulta que a lo largo de los 8000 últimos años, la altura equivalente de agua que había entrado en el embalse subterráneo sería de 200 m y, admitiendo que la porosidad media del acuífero fuese 0,1, resultaría una zona saturada de agua de 2000 m de espesor. Es claro pues que, excepto en los climas áridos, difícilmente se encontrará una estructura geológica en la tierra, en la que su capacidad natural

de almacenamiento de agua no haya sido prácticamente cubierta por la recarga de las precipitaciones acuosas de los diversos períodos climáticos del Cuaternario. (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1983)

#### **2.2.14 Prospección geofísica**

La geofísica como ciencia tal comprende el estudio del planeta tierra siendo la prospección geofísica una rama de aplicación moderna de la geofísica aplicada, corresponde a métodos y técnicas físicas, matemáticas y científicas orientadas a conocer la distribución de los materiales en el subsuelo y sus propiedades con diversos fines teniendo los más usuales la búsqueda de yacimientos mineros, reservas petrolíferas, agua subterránea y descripción de las características de estratos y roca madre con fines geotécnicos. (Custodio & Llamas, 1996).

#### **2.2.15 Método Magnético**

Métodos con relativa antigüedad (siglo XVIII) usados para la búsqueda de minerales magnéticos, desde finales del Siglo XIX su mayor uso y con validación científica, consiste en la medición de las variaciones en el campo magnético del planeta tierra caracterizando el subsuelo mediante la susceptibilidad de los componentes de ella, estas mediciones se encuentran relacionadas directamente con la presencia de minerales con propiedades magnéticas que causan variaciones en el campo magnético. (Custodio & Llamas, 1996)

#### **2.2.16 Método Gravimétrico:**

Metodología de prospección geofísica correspondiente al estudio de las anomalías gravitatorias o variaciones de la intensidad de la gravedad terrestre siendo originados por cuerpos mineralizados, existencia de fallas geológicas que colocan en contacto rocas de diferente naturaleza y densidad, esta metodología consiste en la medición de las variaciones laterales de la fuerza de la gravedad de un área a otra y comparada con mediciones de gravedad patrón o absolutas. Este método se puede aplicar en el campo de la hidrogeología para definir los límites laterales de los acuíferos; pero a su elevado costo y tiempo hace que disminuya su aplicabilidad. (Custodio & Llamas, 1996).

### 2.2.17 Método Sísmico

Inventiva correspondiente a los estudios sísmicos producidos artificialmente mediante explosiones de pequeñas magnitudes o impacto de objetos hacia la superficie, estas ondas son observadas mediante los tiempos de llegada de los movimientos obteniendo registros de interpretación de tiempo vs distancia, están en función a la profundidad e interfaces de las diferentes capas del subsuelo, así como las velocidades de onda (P o S) en cada capa lo que describe sus características. (Custodio & Llamas,1996).

### 2.2.18 Método Geoeléctrico

Estudios de prospección geofísica cuya función es conocer la distribución de conductividades eléctricas en los materiales componentes del subsuelo, existen diferentes metodologías que consisten en introducir corrientes inducidas hacia el suelo y subsuelo mediante sondeos en sus diferentes arreglos geométricos con el fin de conocer en 1D o 2D la composición del subsuelo mediante la respuesta a la conductividad/resistividad. Las principales aplicaciones del método geoeléctrico son las investigaciones petroleras, prospección de agua subterránea, estudios con fines geotécnicos para la búsqueda de roca madre, caracterización de suelos, investigaciones arqueológicas etc. (Custodio & Llamas,1996).

A su vez los métodos de exploración eléctrica se subdividen según al tipo de corriente con el que se realiza el estudio siendo:

**Métodos de corrientes naturales:** Corresponden al método de potencial espontaneo y método telúrico

**Métodos de corrientes artificiales:** Las metodologías más usadas corresponden a método electromagnético (georadar), método de carga y método de resistividad (sondeo eléctrico vertical, calicata eléctrica, tomografía de resistividad eléctrica) siendo esta última metodología la de amplio uso

en la exploración de aguas subterráneas en sus diferentes técnicas e instrumentación. (Custodio & Llamas,1996).

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

### 3.1 Método de la investigación

#### 3.1.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo. Se considera así, porque se requiere solucionar el problema de investigación en base a mediciones que se consiguen con ayuda de instrumentos y los resultados en (cantidades) deben ser analizados para llegar a un resultado.

Según lo expresado por (Hernández Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir pasos. De las preguntas propuestas se afianzan las hipótesis y determinan variables; se emite un plan para comprobarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis. (Hernández Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

#### 3.1.2 Nivel o alcance de la investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo con alcance explicativo; es decir que con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. (Hernández Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

(ARIAS, 2012) Describe la investigación explicativa, en su libro “El Proyecto de Investigación” Introducción a la metodología científica, como:

“La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de la hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos”.

### **3.1.3 Método de investigación**

El método empleado en la tesis es: MÉTODO HIPOTÉTICO – DEDUCTIVO.

El método usado es HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO porque se planteó más de una hipótesis, las que se demuestran en base a procesos deductivos, que son relacionados con las variables y los indicadores de nuestra investigación. (HERNANDEZ, 2010).

## **3.2 Diseño de la investigación**

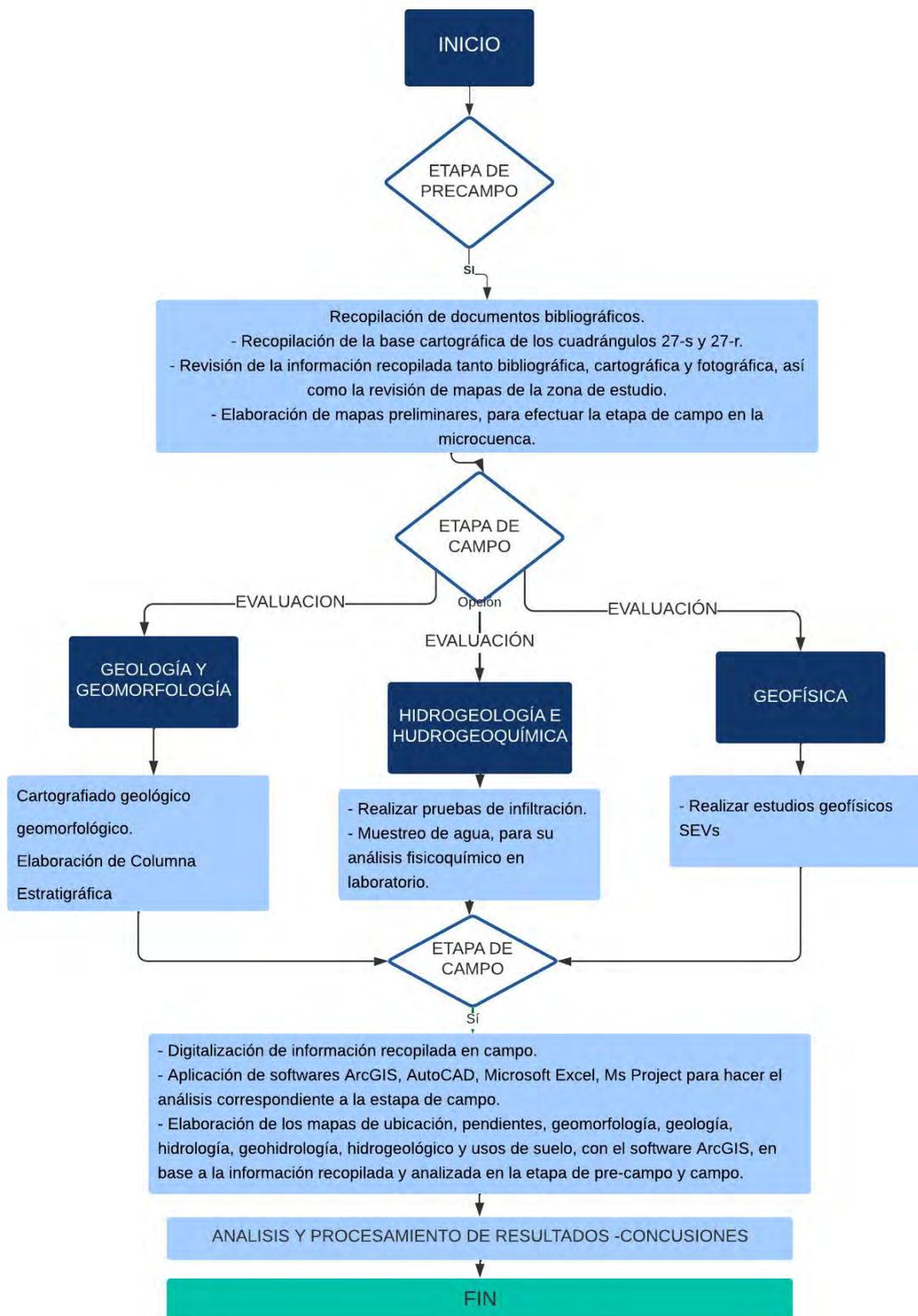
### **3.2.1 Diseño metodológico**

El método utilizado en la investigación es no experimental, puesto que no se realizaron experimentos con las variables de estudio o también definidas como investigaciones en las que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos a fines, los cuales se dan en su contexto natural, para analizarlos. (Hernández Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

### 3.2.2 Diseño de ingeniería

Figura 13:

*Esquema de Diseño de Ingeniería*



### 3.3 Población y muestra

#### 3.3.1 Población

Quebrada Paucarbamba.

#### 3.3.2 Muestra

Geomorfología: Pendiente, Fisiografía, Paisajes.

Geología: Litología, formas estructurales, deformaciones.

Hidrología: Precipitación, Temperatura, Precipitación máxima 24h.

Hidrogeología: Permeabilidad, porosidad.

### 3.4 Definición de Variables e Indicadores

#### 3.4.1 Variables independientes.

- Geología, Geofísica, Hidrogeología.

Denominación	Características Geológicas
tipo	Independiente
naturaleza	cualitativa
indicador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratigrafía</li> <li>• Geología estructura</li> <li>• Geomorfología</li> </ul>
unidad de medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metros (espesor de estratos)</li> <li>• cantidad de fallas</li> <li>• Parámetros geomorfológicos, % (pendiente), metros</li> </ul>
instrumento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ficha técnica</li> <li>• cartografiado en mapas base</li> </ul>
dimensión	Geológica
definición operacional	levantamiento de columna estratigráfica, Identificación de estructuras locales y unidades geomorfológicas
definición conceptual	Parte de la geología que estudia la disposición y las características de las rocas sedimentarias y los estratos.

<b>Denominación</b>	<b>Características Geofísicas</b>
<b>Tipo</b>	Independiente
<b>Naturaleza</b>	cualitativa
<b>Indicador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permeabilidad de suelos y rocas</li> <li>• Concentración de sales disueltas</li> </ul>
<b>Unidad de medida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ohm-m</li> </ul>
<b>Instrumento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistímetro – ficha técnica</li> <li>• Ficha técnica</li> <li>• Ficha técnica</li> <li>• Medidor multiparámetro, análisis de laboratorio</li> </ul>
<b>Dimensión</b>	Geofísica
<b>Definición operacional</b>	Determinar la presencia de agua y en que volumen en las unidades geológicas.
<b>Definición conceptual</b>	La Geofísica es una ciencia que estudia la tierra desde el punto de vista de la física.

<b>Denominación</b>	<b>Características Hidrogeológicas</b>
<b>Tipo</b>	<b>Independiente</b>
<b>Naturaleza</b>	cualitativa
<b>Indicador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permeabilidad de suelos y rocas</li> <li>• Clasificación de acuíferos</li> <li>• Hidrología</li> <li>• Físicoquímica del agua subterránea</li> </ul>
<b>Unidad de medida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centímetros / minuto</li> <li>• Cantidad de acuíferos</li> <li>• mm /hora, m<sup>3</sup>/hora</li> <li>• Parámetros físicoquímicos</li> </ul>
<b>Instrumento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistímetro – ficha técnica</li> <li>• Equipos para perforación</li> <li>• Ficha técnica</li> <li>• Sonda eléctrica – ficha técnica</li> <li>• Ficha técnica</li> <li>• Medidor multiparámetro, análisis de laboratorio</li> </ul>
<b>Dimensión</b>	Hidrogeología
<b>Definición operacional</b>	Determinar el tipo de acuífero de acuerdo a las características de presencia de agua subterránea.
<b>Definición conceptual</b>	La hidrogeología es la parte de la geología encargada de estudiar la el ciclo del agua subterránea y su relación con el ciclo superficial del agua.

### 3.4.2 Variables dependientes.

- Identificación de acuíferos.

<b>Denominación</b>	<b>EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA</b>
<b>Tipo</b>	<b>Dependiente</b>
<b>Naturaleza</b>	cualitativa
<b>Indicador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prospección Geofísica</li> <li>• Perforación de pozos</li> <li>• Productividad de agua subterránea</li> <li>• Nivel de agua freática</li> </ul>
<b>Unidad de medida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia ohmios</li> <li>• Metros lineales</li> <li>• Caudal</li> <li>• metros</li> </ul>
<b>Instrumento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistivímetro – ficha técnica</li> <li>• Equipos para perforación</li> <li>• Ficha técnica</li> <li>• Sonda eléctrica – ficha técnica</li> </ul>
<b>Dimensión</b>	Hidrogeología
<b>Definición operacional</b>	Determinar las características de los acuíferos
<b>Definición conceptual</b>	Los acuíferos son estructuras geológicas capaces de almacenar y transmitir agua subterránea por tanto se puede explorar este recurso en estas unidades

### 3.4.3 Operacionalidad de variables

	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS GEOLOGICAS (VARIABLE INDEPENDIENTE)</b>	<i>Geología</i>	• Estratigrafía
			• Geología estructura
			• Geomorfología
	<b>CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS (VARIABLE INDEPENDIENTE)</b>	<i>Hidrogeología</i>	• Permeabilidad de suelos y rocas
			• Físicoquímica del agua subterránea
			• Hidrología
			• Clasificación de acuíferos
	<b>CARACTERISTICAS GEOFISICAS (VARIABLE INDEPENDIENTE)</b>	<i>Geofísicas</i>	• Permeabilidad de suelos y rocas
			• Temperatura
• Concentración de sales disueltas			

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA (VARIABLE DEPENDIENTE)</b>	<i><b>Hidrogeología</b></i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prospección Geofísica</li> <li>• Productividad de agua subterránea</li> <li>• Nivel de agua freática</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perforación de pozos</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productividad de agua subterránea</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de agua freática</li> </ul>

Matriz de Consistencia				
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>¿Cuáles son las características geológicas, hidrogeológicas y geofísicas favorables que permiten un adecuado manejo de los recursos hídricos en la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba?</p>	<p>Definir las características geológicas, geofísicas e hidrogeológicas de la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba con fines de realizar un manejo adecuado y provechoso de los recursos hídricos de este sector.</p>	<p>El estudio de la geología, geofísica e hidrogeología, de la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, nos permitirá definir las características del o los acuíferos presentes en la zona de estudio.</p>	<p><b>Variables Dependientes:</b> Los Acuíferos de la Cuenca Paucarbamba</p> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prospección Geofísica</li> <li>• Productividad de agua subterránea</li> <li>• Nivel de agua freática</li> </ul> <p><b>Variables Independientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características Geológicas</li> <li>• Características hidrogeológicas</li> <li>• Características Geofísicas</li> </ul> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratigrafía</li> <li>• Geología estructura</li> <li>• Geomorfología</li> <li>• Permeabilidad de suelos y rocas</li> <li>• Resistividad de materiales</li> <li>• Permeabilidad de suelos y rocas</li> <li>• Clasificación de acuíferos</li> <li>• Hidrología</li> <li>• Físicoquímica del agua subterránea</li> </ul> <p><b>Universo:</b> Quebrada Paucarbamba</p> <p><b>Población:</b> Pobladores del distrito de Maras</p> <p><b>Muestra:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geomorfología: Pendiente, Fisiografía, paisajes.</li> <li>Geología: Litología, formas estructurales, deformaciones.</li> <li>Hidrología: Precipitación, Temperatura, Precipitación máxima 24h.</li> <li>Hidrogeología: Permeabilidad, porosidad.</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación Básica</li> </ul> <p><b>Nivel de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Descriptiva - Explicativa</li> </ul> <p><b>Diseño de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No Experimental</li> </ul> <p><b>Técnica de recolección de datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparación de mapas base.</li> <li>• Muestreo cartografiado geológico.</li> <li>• Levantamiento de columnas estratigráficas.</li> <li>• Mediciones estructurales.</li> <li>• Levantamiento de Sondeo Eléctrico Vertical (SEVs).</li> </ul> <p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase de planificación y recopilación de información.</li> <li>• Fase de trabajo en campo.</li> <li>• Fase de gabinete.</li> </ul>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son las características geológicas favorables, en la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, para suplir el abastecimiento de agua superficial con fines de explotación de agua subterránea?</li> <li>• ¿Cuáles son las características hidrogeológicas favorables, en la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, para suplir el abastecimiento de agua superficial con fines de explotación de agua subterránea?</li> <li>• ¿Cuáles son las características geofísicas favorables, en la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, para suplir el abastecimiento de agua superficial con fines de explotación de agua subterránea?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de las unidades geológicas.</li> <li>• Determinar las características georesistivas del subsuelo y el o los acuíferos.</li> <li>• Determinar la geometría del acuífero de acuerdo a sus condiciones geoeléctricas.</li> <li>• Identificar las unidades hidrogeológicas, y realizar el modelo conceptual.</li> <li>• Determinar las características hidráulicas del acuífero.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La presencia de agua subterránea está influenciada por las características de las unidades geológicas presentes y sus características como: emplazamiento, litología, grado de fracturamiento, límites del o los acuíferos, etc.</li> <li>• Las diferentes georesistividades, existentes en la zona de estudio, delimitan el acuífero siendo las de menor medida las que definen su existencia.</li> <li>• Las lecturas del levantamiento geofísico determinan que el acuífero está emplazado por debajo del eje de la quebrada y hacia la margen izquierda de la quebrada Paucarbamba.</li> <li>• Con el cartografiado a detalle, pruebas de infiltración y correlación geofísica se podrán identificar las unidades hidrogeológicas y obtener el modelo conceptual del acuífero.</li> <li>• Mediante el estudio y la correlación de parámetros geoeléctricos e hidráulicos se podrá determinar las características hidráulicas del acuífero.</li> </ul>		

### 3.5 Matriz de consistencia

### **3.6 Técnicas e instrumentos**

#### **3.6.1 Técnicas o métodos**

El método utilizado fue:

- Observación directa e indirecta: Se registrarán los datos obtenidos mediante observación directa y toma de datos respectivos a nivel de geología, geomorfología, geofísica.
- El Análisis de la guía de laboratorio: Se registra los datos para llevar a las instalaciones de éste para el respectivo análisis de agua subterránea.
- Preparación de mapas base, muestreo cartografiado geológico, levantamiento de columnas estratigráficas, mediciones estructurales, levantamiento de Sondeo Eléctrico Vertical (SEVs).

#### **3.6.2 Instrumentos de recolección de datos**

Fichas de registro de campo

- Fichas de georreferenciación de muestras litológicas
- Fichas de ensayo de permeabilidad.
- Fichas de gerefereenciación de manantiales

Fichas de registro físico de laboratorio (Hidrogeoquímica)

- Análisis hidrogeoquímico de las muestras

#### **3.6.3 Instrumentos de ingeniería**

Para ejecutar la investigación en la diferentes etapas y procesos se usaron los materiales y equipos que mencionaremos a continuación y conforman los instrumentos de Ingeniería.

**Instrumentos de campo.**

Brújula, GPS, resistivímetro, electrodos, cronometro, cinta métrica de 50 metros, lector multiparámetro de agua, wincha de mano, comba, picota, cincel, tubo de PVC 2" x 50 cm.

**Instrumentos de gabinete**

Computadora, laptop, impresora, plotter, escáner, fotocopidora.

**3.6.4 Materiales****Materiales de campo:**

Imagen Satelital, cartas nacionales, tablero, fichas de campo para levantamiento geofísico, lápiz de color, porta minas, papel milimetrado, bolsas de muestras para suelo, ácido muriático al 10 %, lupa 15-20x, rayador, protactor, poncho de lluvia.

**Materiales de Gabinete:**

- Computadora, laptop, impresora, plotter, escáner, fotocopidora.

**3.7 Metodología del estudio**

La metodología convenientemente la dividimos en 3 etapas, las que se muestran:

***PRIMERA ETAPA – GABINETE***

Contenida por las actividades secuenciales mencionadas a continuación:

- Recopilación de documentos bibliográficos.
- Recopilación de la base cartográfica de los cuadrángulos 27-s y 27-r.
- Revisión de la información recopilada tanto bibliográfica, cartográfica y fotográfica, así como la revisión de mapas de la zona de estudio.
- Elaboración de mapas preliminares, para efectuar la etapa de campo en la cuenca.

## ***SEGUNDA- ETAPA DE CAMPO***

Durante esta etapa se identificó, analizó, se cartografió y se tomó los datos respectivos necesarios de la Geología- Geomorfología-Geología Estructural e Hidrogeología con el objeto de alcanzar con los objetivos antes citados; los trabajos desarrollados en la etapa de campo son:

- Reconocimiento de zona de estudio, toma de datos geomorfológicos para la elaboración del mapa geomorfológico local en la zona de estudio.
- Cartografiado geológico con detalle, reconociendo y delimitando las formaciones geológicas existentes dentro del ámbito de estudio.
- Elaboración de una columna estratigráfica local, con objeto de identificar una relación directa entre las formaciones geológicas y los acuíferos presentes en la cuenca de estudio.
- Corroborar en campo, la información geológica teórica obtenida en la etapa de pre campo.
- Ubicación Georferenciada de fuentes hídricas (ojos de agua, manantes, ríos y riachuelos), para el inventariado de flujos de agua.
- Realizar pruebas de infiltración.
- Muestreo de agua, para su análisis fisicoquímico en laboratorio.
- Cartografiado del uso actual de suelo dentro de la cuenca Paucarbamba.

## ***TERCERA- SEGUNDA ETAPA DE GABINETE***

Luego de finalizar con la etapa de campo, debemos de evaluar, analizar y procesar toda la información recolectada en el campo para finalmente sistematizarla y llegar a los consecuentes resultados, los que detallamos a continuación:

- Digitalización de información recopilada en campo.
- Aplicación de softwares ArcGIS, AutoCAD, Feflow, Microsoft Excel, Ms Project para hacer el análisis correspondiente a la etapa de campo.

- Elaboración de los mapas de ubicación, pendientes, geomorfología, geología, hidrología, geohidrología, hidrogeológico y usos de suelo, con el software ArcGIS, en base a la información recopilada y analizada en la etapa de pre-campo y campo.
- Procesamiento e interpretación de los datos obtenidos.
- Por último, la Redacción del informe final.

### **3.8 MARCO GEOMORFOLOGICO**

#### **3.8.1 Generalidades**

La geomorfología tiene como objeto el estudio de las formas del relieve terrestre, desde un enfoque interpretativo con el fin de describir y analizar las causas que han determinado los diferentes procesos y formas finales del paisaje.

#### **3.8.2 Geomorfología Regional**

Los estudios geológicos de los boletines geológicos “Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca 1996” describen las unidades geomorfológicas regionales, en donde se ubicó la zona de estudio la cual se describe a continuación: Regionalmente la zona de estudio se encuentra enmarcada dentro de la unidad geomorfológica regional conocida como Altiplanicie. (Carlotto et al., 1996)

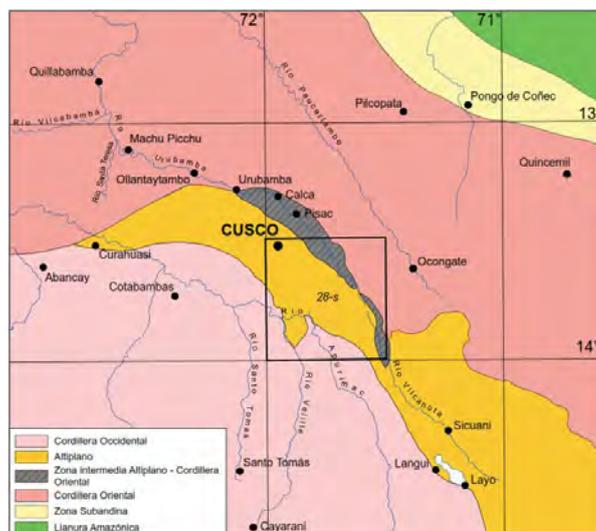
#### **3.8.3 Altiplanicie.**

Esta unidad corresponde a antiguas planicies puesta en posición alta, por procesos tectónicos, presentan relieves relativamente planos de poca pendiente.

Las geoformas presentes dentro de esta unidad corresponden a la Depresión de Limatambo, Meseta de Chinchaypucyo, Depresión de Anta y la Pampa de Maras donde se sitúa la cuenca de estudio.

## Figura 1

### Unidades Geomorfológicas Regionales



Nota. Fuente: (Carlotto et al, 2011).

### 3.8.4 Pampa de Piuray – Maras

Se trata de un relieve algo plano que se halla a una altura mayor que la Depresión de Anta, variando entre 3,600 y 3,750 msnm. Esta unidad limita al norte con el río Urubamba a través de una ladera escarpada en la parte oriental y una pendiente suave en el sector occidental. Al este limita con las Montañas del Cusco por intermedio de fallas N-S los que muestran reactivaciones cuaternarias y holocenas. Al sur limita con la Depresión de Anta y lo hace de una manera progresiva. Al oeste, el límite es con las Montañas de Huayanay, a través del valle del río Huarcocondo. Esta Pampa está rellena por secuencias caóticas, con grandes bloques, de la Formación Chincheros de posible edad Pliocena y por series fluviolacustres del Pleistoceno de la Formación San Sebastián. Además, en la Pampa de Piuray - Maras afloran lutitas, calizas y evaporitas del Grupo Yuncaypata. Autor (Carlotto et al, 1996).

#### 3.8.4.1 Geomorfología Local

Para tener una adecuada interpretación y conocimiento de la geomorfología local es necesario realizar el mapa de geomorfología local, para su elaboración se usó el método propuesto por el MINAM que consiste en el análisis e interpretación de imágenes satelitales, generación de

datos SIG espaciales como son las pendientes, fisiografía, litología, cobertura vegetal y por último la integración de esta data en una final que resultó en el mapa geomorfológico local

### 3.8.5 El análisis de la fisiografía

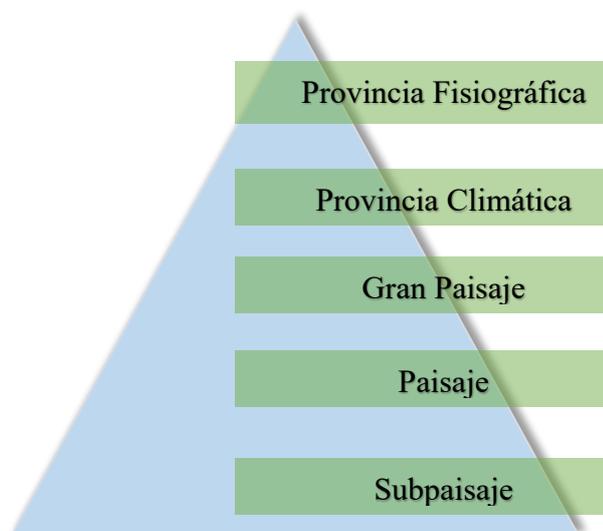
El Análisis fisiográfico consiste en un método de interpretación de imágenes de la superficie terrestre basada en la relación existente entre fisiografía y suelo, teniendo en cuenta que el suelo es un elemento de los paisajes fisiográficos, y que, al mismo tiempo, el entorno geomorfológico definido por el relieve, el material parental, y el tiempo junto con el clima, son factores formadores de tales paisajes, y por consiguiente de los suelos que presentan (Villota, 1992).

El Centro Interamericano de Fotointerpretación **CIAF** propone un método de análisis fisiográfico describiendo características de la naturaleza como son el relieve, los materiales, la edad de las formaciones superficiales, los procesos morfogenéticos, así como incluye aspectos relativos al agua, clima y la acción antrópica.

Este método de clasificación utiliza niveles jerárquicos de lo general a lo particular en el gráfico se observa las cinco categorías o niveles jerárquicos.

#### Figura 2

*Orden jerárquico de los grupos fisiográficos de la clasificación fisiográfica*



*Nota.* Fuente: Clasificación fisiográfica del terreno (Serrato Álvarez, 2009)

### 3.8.5.1 Provincia Fisiográfica

#### Altiplano

Gran parte del cuadrángulo de Cusco se localiza en la prolongación noroeste del Altiplano y corresponde a la terminación occidental de esta unidad que viene desde Bolivia. Limita al sur con el borde NE de la Cordillera Occidental y al norte con la Cordillera Oriental mediante la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental, caracterizada por el anticlinal de Vilcanota. En el Altiplano afloran rocas mesozoicas de poco espesor por comparación a sus equivalentes de la Cordillera Occidental, sin embargo, las capas rojas continentales del Terciario son muy potentes, como el Grupo San Jerónimo (> 5000 m) que además muestra la superficie más amplia de afloramientos. En el aspecto morfológico se caracteriza por ser una altiplanicie con altitudes que varían entre 3800 y 4000 msnm (Foto 4), aunque localmente algunas montañas pueden sobrepasar los 4400 msnm. Esta unidad está disectada por numerosos ríos y por la acción glacial, que le dan una configuración muy agreste, a pesar de ser parte del Altiplano. (Carlotto et al, 2011).

La cuenca de Paucarbamba se ubica en la geoforma denominada Pampa de Piuray-Maras la que presenta un relieve allanado donde se aprecia material lacustre (arcillas, diatomitas), existen lomas intermedias y destaca el cerro Huaynaorcco (4100 msnm). Este cerro compuesto por andesitas cuaternarias de la Formación Rumicolca.

### 3.8.5.2 Provincia Climática

Corresponde a la segunda clasificación del orden jerárquico propuesta por (Serrato Alvarez 2009), en esta clasificación se agrupa las zonas en la que la temperatura promedio anual, así como la humedad disponible son homogéneas además del espacio observado, el comportamiento

de las especies vegetales y el uso actual de tierras comparte las mismas características lo cual refleja en una génesis específica de los suelos.

Realizando la consulta a estudios anteriores como son la zonificación ecológica económica del departamento del cusco para el que se basaron en la clasificación climática de Thornwaite (1931) y del SENAMHI (1988), en estas clasificaciones involucran aspectos como altitud, humedad disponible, temperatura, entre otras.

La cuenca de Paucarbamba está comprendida entre dos unidades climáticas:

#### SEMIÁRIDO SEMIFRÍGIDO CON INVIERNO SECO

La precipitación anual se distribuye en un rango de 200 a 500 mm, con una temperatura media anual de 12 a 14 °C. Las precipitaciones de mayor intensidad se distribuyen entre los meses de diciembre a marzo y con un periodo seco definido entre los meses de mayo a julio.

Este tipo climático se halla ubicado desde los 2 400 a 3 000 metros de altitud (Gobierno Regional del Cusco, 2005).

#### SEMISECO SEMIFRÍO CON INVIERNO SECO

Presenta una precipitación anual de 500 a 1 000 mm y una temperatura media anual de 12 a 14 °C. Los meses con mayor intensidad de precipitaciones pluviales son de diciembre a marzo y un periodo seco entre los meses de mayo a Julio.

Este tipo climático se halla ubicado desde los 3 000 a 3 600 metros de altitud (Gobierno Regional del Cusco, 2005).

#### **Unidades de Gran Paisaje**

Se determino la presencia de tres unidades de gran paisaje dentro de la cuenca Paucarbamba, se determinó la presencia de estas unidades debido a las similitudes en los rasgos topográficos,

litológicos y paisajísticos. Se elaboró la tabla 4 según los criterios para la clasificación de estas unidades, se aprecia que la unidad de gran paisaje de montaña corresponde al 60.06 % del área total en la cuenca, el gran paisaje de altiplanicie corresponde a un 38.83 % y planicie en un 1.11 %.

**Tabla 4**

*Unidades de Gran Paisaje.*

Unidad de Gran Paisaje	Símbolo	Área (ha)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>Montaña</b>	M	647.83	6.48	60.06 %
<b>Planicie</b>	PL	11.91	0.12	1.11 %
<b>Altiplanicie</b>	APL	418.85	4.19	38.83 %
	<b>Total</b>	<b>1078.59</b>	<b>10.79</b>	<b>100 %</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 3**

Distribución porcentual de las unidades de gran paisaje en la cuenca Paucarbamba.



*Nota.* Fuente: (Carlotto et al, 2011).

### **Montaña**

La unidad paisajística de montaña se presenta a manera de elevaciones del terreno con relieves medianamente inclinadas a empinadas, el origen de este paisaje se refiere a procesos denudacionales, presentan una topografía ondulada hacia las cimas y empinadas hacia sus vertientes. Esta unidad presenta un área de 647.83 hectáreas dentro de la cuenca lo que representa un 60.06 % del área total de la zona de estudio.

### **Altiplanicie**

La unidad paisajística de Altiplanicie corresponde a zonas más o menos planos, que contiene materiales productos de erosión y sedimentación de series fluviolacustres del Pleistoceno, en esta unidad sobresalen pequeñas colinas conformadas por afloramientos de areniscas de la Formación Quilque y volcánicos de la formación Rumicolca como el cerro Huayna Orcco.

La topografía está representada por llanuras con pendientes entre los (0 a 25%), la superficie que ocupa esta unidad son 418.85 hectáreas, esto representa un 38.83 % de la superficie de la cuenca Paucarbamba.

### **Planicie**

Esta unidad esta representa en la parte más baja de la cuenca compuesta por la deposición de materiales fluvioaluviales, las aguas intermitentes de la cuenca Paucarbamba depositaron estos suelos que se unen con los materiales fluviales del valle del rio Vilcanota. La pendiente corresponde a terrenos llanos con una pendiente de (0 a 25 %). Esta unidad en la cuenca es de menor superficie en comparación con las unidades anteriormente descritas el área que ocupa es de 11.91 hectáreas, esto representa el 1.11 % de la cuenca de Paucarbamba.

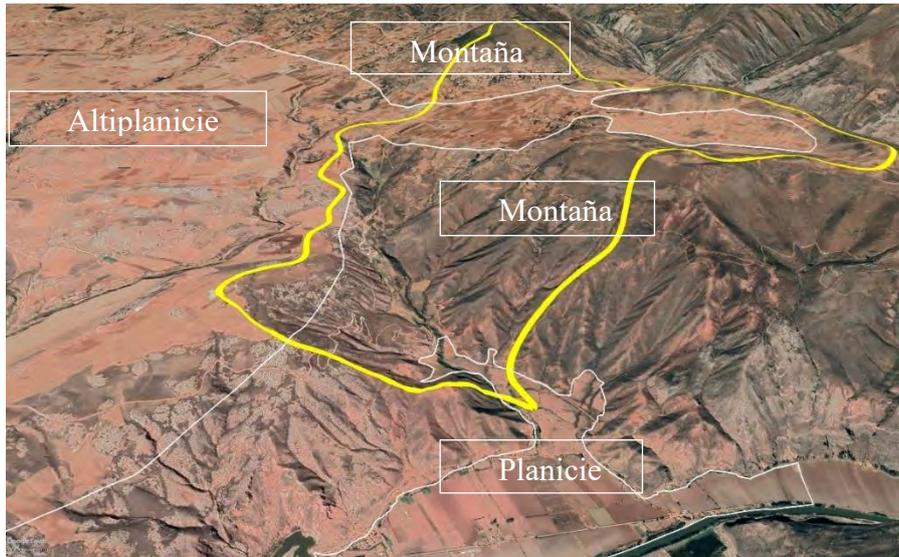
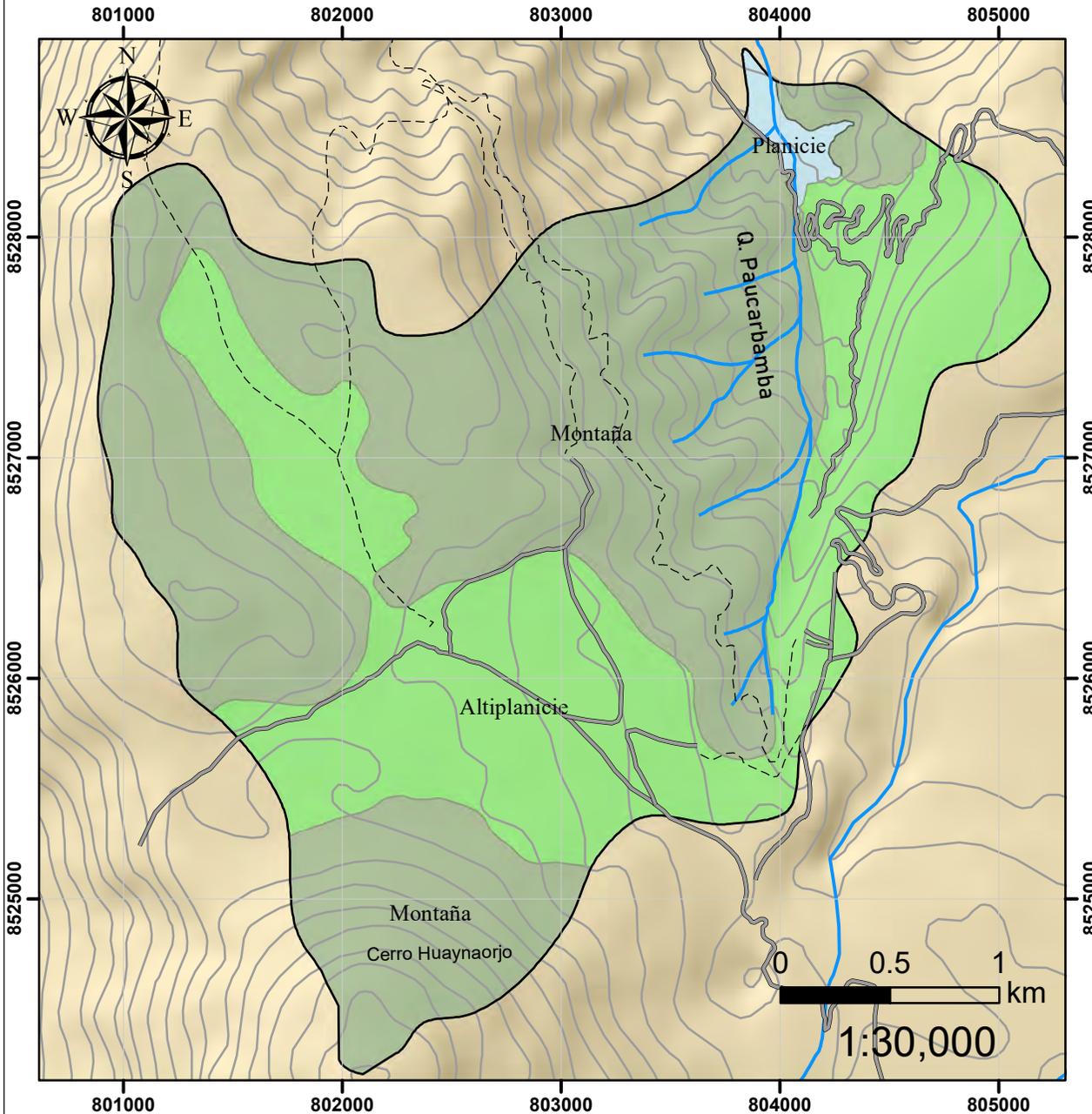


Figura Cuenca Paucarbamba y sus unidades de gran paisaje

# Mapa de Unidades de Gran Paisaje



Leyenda				
Unidad de Gran Paisaje	Símbolo	Área (ha)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Montaña	M	647.83	6.48	60.06%
Planicie	PL	11.91	0.12	1.11%
Altiplanicie	APL	418.85	4.19	38.83%
<b>Total</b>		<b>1078.59</b>	<b>10.79</b>	<b>100%</b>

Simbología	
	Camino de Herradura
	Trocha Carrozable
	Drenaje
	Microcuenca
	Altiplanicie
	Montaña
	Planicie
	topo_100

"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLÓGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"

## PLANO DE UNIDADES DE GRAN PAISAJE

<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras		<b>PGM</b>  <b>01</b>
Escala Indicada		Fecha: Marzo del 2023	

### 3.8.5.3 Unidades de Paisaje

El cuarto nivel en la clasificación jerárquica de la fisiografía corresponde a la clasificación de Paisaje, esta clasificación está sujeta a las características similares que comparten los paisajes como son la litología, topografía, morfología específica y los procesos morfodinámicos activos.

En el área de estudio se identificaron cuatro unidades de paisaje que se detallan en la tabla 5 y en la figura 4.

**Tabla 5:**

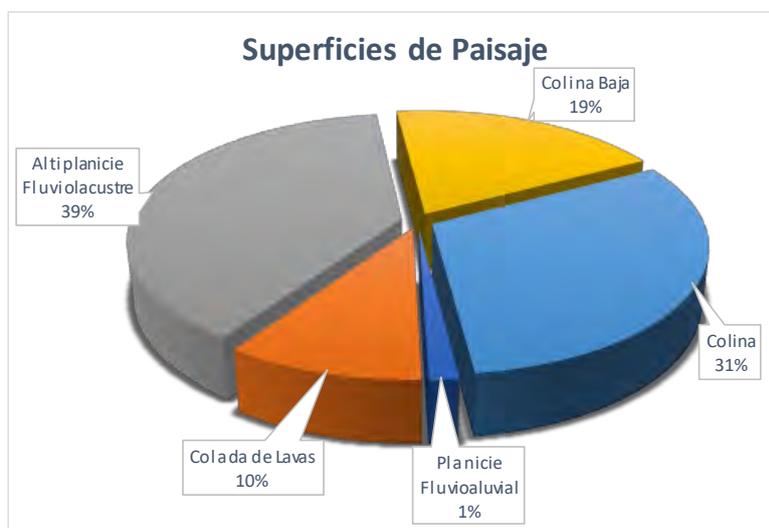
*Unidades de paisaje*

<b>Unidad de Paisaje</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
<b>Planicie Fluvioaluvial</b>	Pfa	11.91	0.12	1.11 %
<b>Colada de Lavas</b>	Cla	106.8	1.07	9.9 %
<b>Altiplanicie Fluvioalacustre</b>	Afl	418.85	4.19	38.83 %
<b>Colina</b>	Co	334.99	3.35	31.05 %
<b>Colina Baja</b>	Cba	206.04	2.06	19.09 %
	<b>Total</b>	<b>1078.59</b>	<b>10.79</b>	<b>100 %</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

## Figura 4

Gráfico de la distribución porcentual de las unidades de gran paisaje.



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### Colina

Esta unidad de paisaje está reconocida dentro del gran Paisaje Montañoso-colinado, que tiene un relieve ondulado hacia las cimas y empinado en sus laderas, estos paisajes se establecen en rocas sedimentarias (areniscas y lutitas de la Formación Quilque), esta unidad se ubica en la zona oeste de la zona de estudio.

El área que ocupa dentro de la cuenca corresponde a 334.99 hectáreas, esto representa un 31.05 % de la superficie total.

### Colina Baja

Unidad de paisaje ubicada hacia la margen izquierda del eje de la cuenca se aprecia la erosión hídrica pluvial y que en combinación con fenómenos de remoción en masa actuales y antiguos dieron estas características paisajísticas. Ocupa un área de 206.04 hectáreas con un 19.09 % del área total de la cuenca.

### **Altiplanicie Fluviolacustre**

La unidad de paisaje Altiplanicie fluviolacustre representan a las altiplanicies con relieve ondulado de baja altitud respecto a los paisajes circundantes además de presentar algunas pequeñas colinas de pocos metros conformado por areniscas o bloques de yesos, en la margen derecha de la cuenca Paucarbamba se observa la altillanura erosionada y socavada formando laderas erosionadas hacia el eje de la cuenca mostrando afloramientos de yesos, lutitas y material fluviolacustre.

La unidad de paisaje Peniplanicie ocupa una extensión de 418.85 hectáreas lo que representa un 38.83 % de la superficie total de la cuenca Paucarbamba.

### **Figura 5**

*Unidad de Paisaje Altiplanicie Fluviolacustre en la margen derecha.*



*Nota. Se evidencia cárcavas y deslizamiento dirigidos hacia el eje de la quebrada.*

### **Colada de lavas**

La unidad de Paisaje de colada de lava corresponde al gran paisaje de Montaña, pero se diferencia de los paisajes descritos por poseer una litología de andesitas en el cerro Huayna Orcco, esta corresponde a derrames lávicos pleistocénicos de la formación Rumicolca, en el proceso de deposición formaron cúmulos-domos o depósitos bulbosos de gran extensión y por procesos denudacionales adquiere ese relieve colinoso.

La unidad de paisaje cono de lavas ocupa una extensión de 106.8 hectáreas, esto representa un 9.9 % del área total en la cuenca Paucarbamba.

### **Figura 6**

*Cerro Huaynaorcco.*



*Nota.* Se aprecia el cerro Huayna Orcco formado por andesitas de la formación Rumicolca formando el paisaje de cono de lavas.

**Figura 7***Cerro Huaynaorcco*

*Nota.* Vista del cerro Huayna Orcco el que sobresale del paisaje de altillanura. Fuente: Google Earth

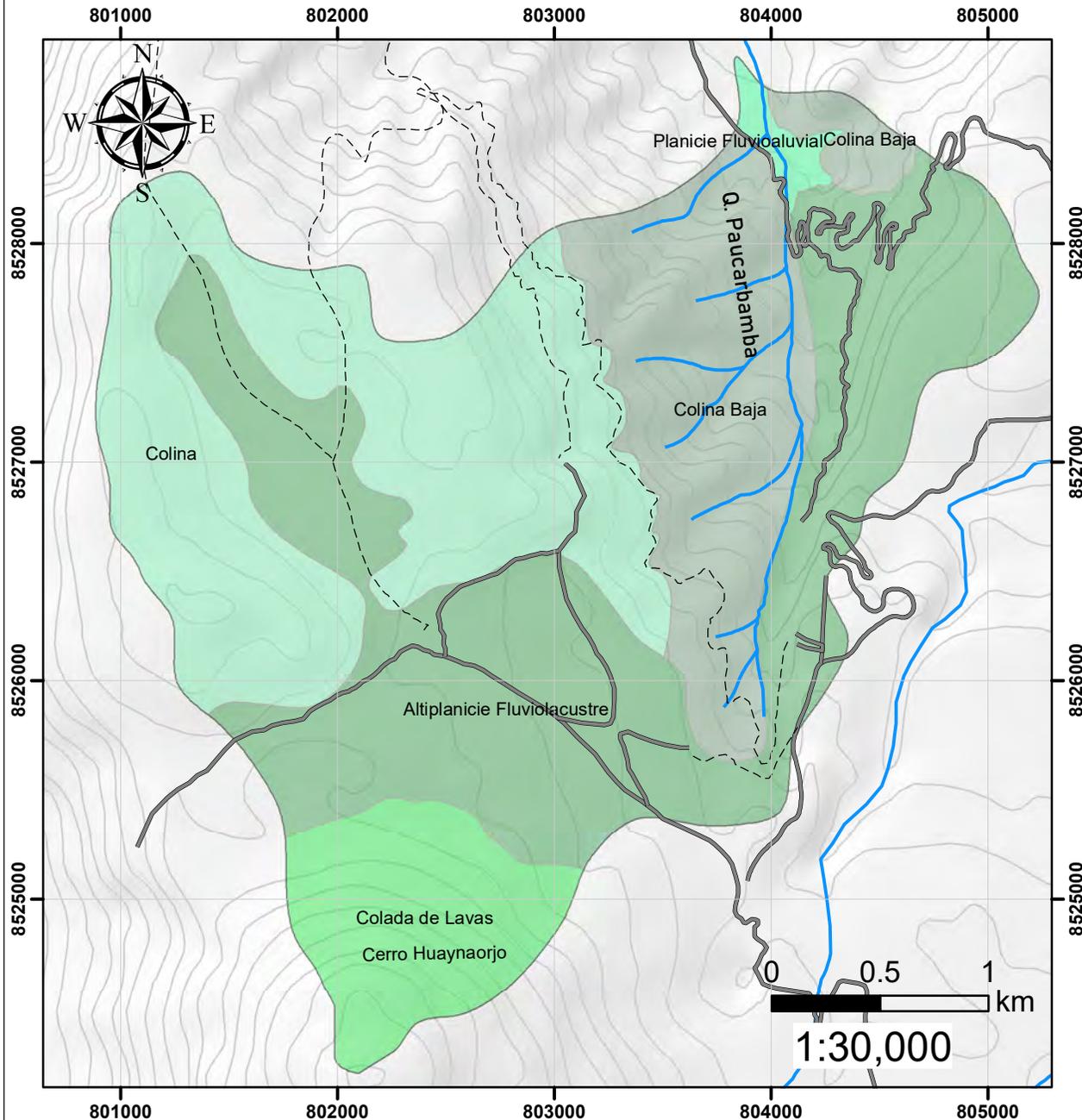
**Planicie Fluvio Aluvial**

La unidad de Planicie fluvio aluvial se presenta con un relieve allanado y topografía plana con pendientes menores a los 15 % en donde los procesos de sedimentación corresponden a la acción del agua impulsada por la gravedad en forma de escorrentía en donde las fuentes más comunes son detritos y sedimentos de areniscas, yesos ,matriz arcillosa y arenosa acarreados de la parte alta , media y baja de la cuenca que se depositan en la parte más llana de la cuenca llenando el eje de la quebrada.

Estos depósitos se juntan con los depósitos fluviales del río Vilcanota en los centros poblados de Paucarbamba formando las terrazas fluviales del Vilcanota.

El área que ocupa esta unidad son 11.91 hectáreas y representa el 1.11 % del área total de la zona de estudio.

# Mapa de Unidades de Paisaje



Leyenda				
Paisaje	Símbolo	Área (ha)	Área (Km2)	Área (%)
Planicie Fluvioaluvial	Pfa	11.91	0.12	1.11%
Colada de Lavas	Cla	106.80	1.07	9.90%
Altiplanicie Fluvioaluvial	Afl	418.85	4.19	38.83%
Colina Baja	Cba	206.04	2.06	19.09%
Colina	Co	334.99	3.35	31.05%
<b>Total</b>		<b>1078.59</b>	<b>10.79</b>	<b>100%</b>

**Unidad de Paisaje**

- Altiplanicie Fluvioaluvial
- Colada de Lavas
- Colina
- Colina Baja
- Planicie Fluvioaluvial

**Simbología**

- Camino de Herradura
- Trocha Carrozable
- dren\_paucar
- Microcuenca
- topo\_100

**"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLÓGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"**

**PLANO DE UNIDADES DE PAISAJE**

<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras	 	<b>PGM</b>  <b>02</b>
<i>Escala Indicada</i>		<i>Fecha: Marzo del 2023</i>	

#### 3.8.5.4 Unidad de Subpaisaje

En la última categoría del sistema de clasificación se encuentra el nivel de Sub paisaje en la que se toman en cuenta los criterios locales y morfométricos como son la posición dentro del paisaje: cima, vertiente, altiplanicie, planicie, cárcava, cauce de río, colina.

En la cuenca de Paucarbamba se identificó 10 unidades de sub Paisaje:

**Tabla 6**

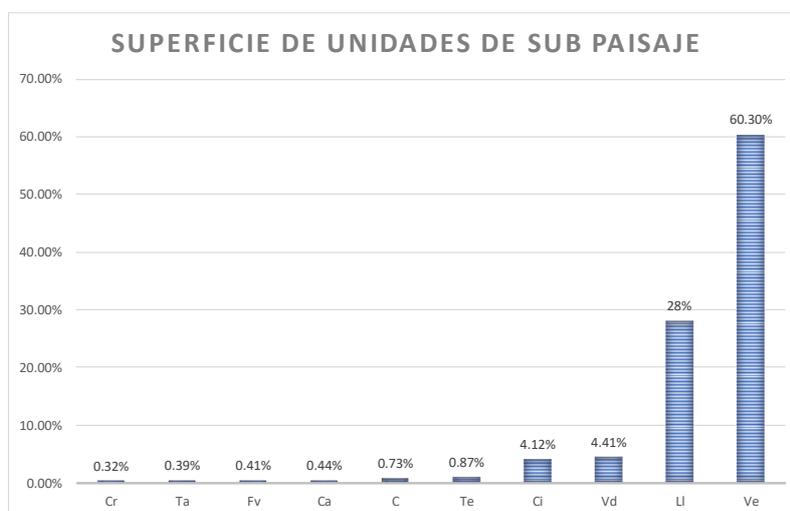
*Unidades de Sub-paisaje.*

Unidad de Sub Paisaje	Símbolo	Área	Área	Área
		(ha)	(km <sup>2</sup> )	(%)
<b>Cauce de Río</b>	Cr	3.44	0.03	0.32
<b>Terraza Alta</b>	Ta	4.25	0.04	0.39
<b>Fondo de Valle</b>	Fv	4.44	0.04	0.41
<b>Cárcava</b>	Ca	4.72	0.05	0.44
<b>Cono</b>	Co	7.9	0.07	0.73
<b>Terraza</b>	Te	9.39	0.09	0.87
<b>Cima</b>	Ci	44.43	0.44	4.12
<b>Vertiente Disectada</b>	Vd	47.6	0.48	4.41
<b>Llanura</b>	Ll	302.05	3.02	28
<b>Vertiente</b>	Ve	650	6.5	60.3
<b>Total</b>		<b>1078.59</b>	<b>10.79</b>	<b>100</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia a partir de Villota,2005

**Figura 8**

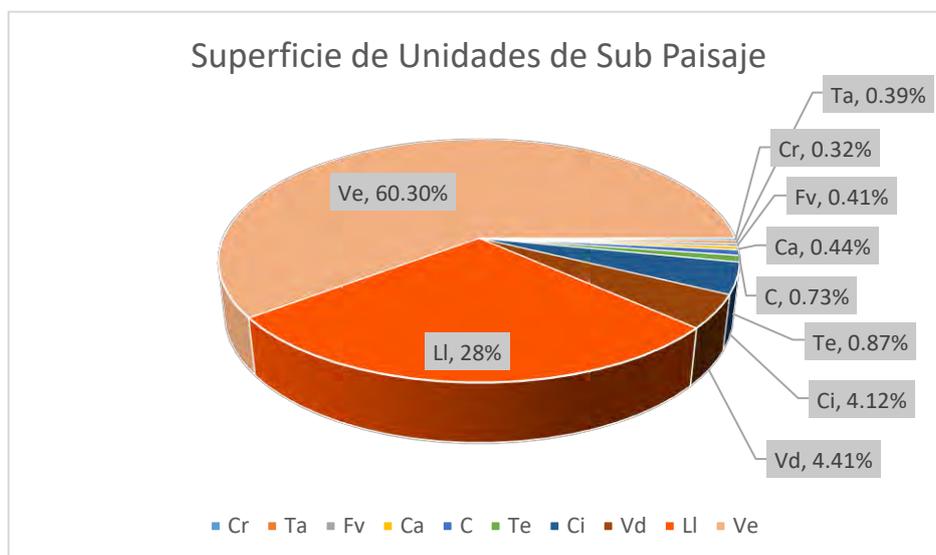
*Diagrama de barras de las unidades de sub paisaje de la cuenca Paucarbamba.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 9**

*Diagrama circular de superficies de las unidades de Sub Paisaje.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

Se determina que la unidad de sub paisaje vertiente es la que tiene mayor predominancia en la zona de estudio con una representación del 60.3% de la superficie total seguida por la unidad de Llanura que corresponde al paisaje de altiplanicie; esta unidad abarca el 28 % del área total evaluada. Las unidades menores representan menos del 10 % de la cuenca.

A continuación, se describirán las unidades de subpaisaje de mayor superficie en la cuenca:

## **Vertiente**

Definido también como ladera, consiste en una porción del entorno con pendiente pronunciada o inclinada del terreno y esta pendiente condiciona los diferentes procesos geológicos y de geodinámica externa, esta subunidad tiene ocurrencia en los diferentes entornos como montañas, colinas y elevaciones. (Villota,2005)

### **Figura 10**

#### *Vertiente de Montaña*



*Nota.* Fuente: Propia.

## **Llanura:**

Subpaisaje que presenta un relieve llano a moderadamente inclinado con pocas variaciones altitudinales, presentan una pendiente mínima ocasionalmente plana, está compuesto generalmente por sedimentos de diferente proceso sedimentario, debido a su disposición topográfica, sobre este subpaisaje se emplazan las principales actividades económicas. (Villota,2005)

### **Vertiente Disectada**

La vertiente disectada al igual que la subunidad de vertiente corresponde a laderas con pendientes variables, la característica adicional es la presencia de laderas escarpadas y erosionadas con profundas incisiones debido a diferentes procesos geológicos y la naturaleza intrínseca del terreno. (Villota,2005)

### **Figura 11**

*Vertiente disectada.*

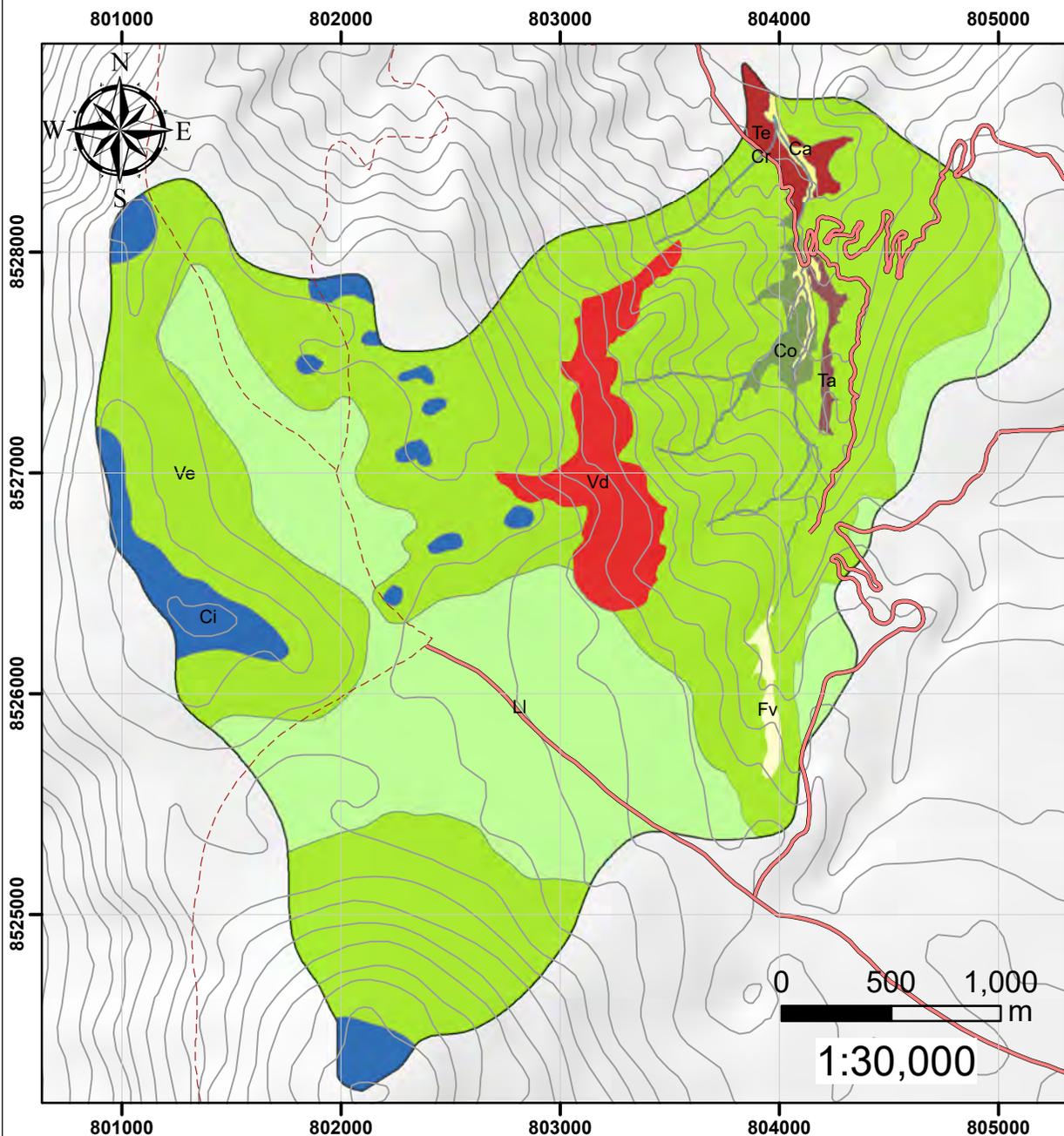


*Nota.* Fuente: Propia.

### **Cima**

El subpaisaje de cima corresponde a la parte superior más alta o cumbres de elevaciones considerables como colinas y montañas, presenta una variación en las pendientes siendo muy inclinadas o empinadas en las laderas y hacia la cima presenta un relieve más allanado. (Villota,2005)

# Mapa de Unidades de Sub Paisaje



LEYENDA				
Unidades de Sub Paisaje		Area (Ha)	Area (KM2)	Area (%)
Carcava	Ca	4.72	0.05	0.44%
Cauce de río	Cr	3.44	0.03	0.32%
Cima	Ci	44.43	0.44	4.12%
Cono	Co	7.90	0.08	0.73%
Fondo de Valle	Fv	4.44	0.04	0.41%
Llanura	Ll	302.05	3.02	28.00%
Terraza	Te	9.39	0.09	0.87%
Terraza Alta	Ta	4.25	0.04	0.39%
Vertiente	Ve	650.36	6.50	60.30%
Vertiente Disectada	Vd	47.60	0.48	4.41%
<b>TOTAL</b>		<b>1078.59</b>	<b>10.79</b>	<b>100.00%</b>

SIMBOLOGÍA	
	Trocha Carrozable
	Camino Herradura
	topo_100
	Microcuenca

**"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLÓGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"**

**PLANO DE UNIDADES DE SUBPAISAJE**

<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras		<b>PGM 03</b>
Escala Indicada		Fecha: Marzo del 2023	

### 3.8.6 Pendientes

Representa los diferentes grados de inclinación del relieve terrestre expresado en gradiente (°) o pendiente (%). Para el análisis de las pendientes de la zona de estudio se elaboró un cuadro resumen identificando dentro de las 7 clases de pendiente según al rango al cual corresponde, esta clasificación en base al reglamento de Clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor se describe en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Clasificaciones de pendiente.*

<b>Clase de Pendiente</b>	<b>Rango de Pendiente (%)</b>	<b>Descripción</b>
<b>A</b>	0-2	Plana o casi nivel o allanada
<b>B</b>	2-4	Llano a ligeramente inclinado
<b>C</b>	4-8	Moderadamente inclinada
<b>D</b>	8-15	Fuertemente inclinada
<b>E</b>	15-25	Moderadamente empinada
<b>F</b>	25-50	Empinadas
<b>G</b>	50-75	Fuertemente Empinadas
<b>H</b>	Mas de 75	Extremadamente Empinadas

*Nota.* Fuente: ONERN (1975).

En base a la clasificación propuesta en la tabla, en la cuenca Paucarbamba se logró identificar 6 rangos de pendientes los que se muestran en la tabla 8 y la figura 10 identificando el rango de pendiente, su descripción, el área y el porcentaje en área.

**Tabla 8***Clasificaciones de pendiente.*

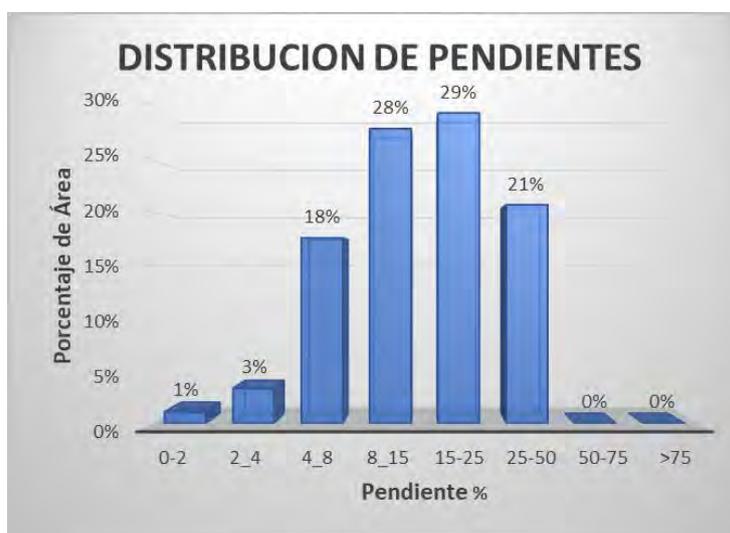
<b>Pendiente (%)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área KM2</b>	<b>Porcentaje de Área</b>
<b>0-2</b>	Allanada	0.12	1.1 %
<b>2-4</b>	Ligeramente Inclinado	0.36	3.3 %
<b>4-8</b>	Moderadamente Inclinado	1.88	17.5 %
<b>8-15</b>	Fuertemente Inclinado	3.02	27.94 %
<b>15-25</b>	Moderadamente Empinado	3.17	29.4 %
<b>25-50</b>	Empinado	2.24	20.75 %
<b>50-75</b>	Fuertemente Empinado	0.00	0%
<b>&gt;75</b>	Extremadamente Empinado	0.00	0%
	<b>Total</b>	<b>10.79</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de la clasificación de pendientes en la cuenca Paucarbamba indican que la pendiente más predominante es del tipo empinado y moderadamente empinado ubicada en las laderas de los valles, partes altas de las montañas y quebradas, del tipo fuertemente inclinado en las laderas medias, partes bajas de las quebradas, colinas y el eje principal de la cuenca.

**Figura 12**

*Distribución porcentual de pendientes en la cuenca Paucarbamba.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

La figura 10 muestra la distribución de pendientes por porcentaje de área, se observa que la pendiente Moderadamente Empinada 15-25% es la que predomina dentro del área de estudio representando un 29.4 % del área total seguido por la categoría de Fuertemente Inclinado 8-15 % representando el 28 % del área total, se evidencia que las pendientes de 50-75 % y >75 % no cubren una superficie significativa dentro de la cuenca.

### **Ambiente Morfodinámico**

Agradacional: Se representa con la letra (G) el proceso agradacional corresponde a los procesos geomorfológicos constructivos de nuevos paisajes a partir de la denudación de relieves elevados seguido de la depositación de los materiales solidos sobre llanuras, base de montañas, colinas, fondos de valle.

La depositación corresponde a procesos de sedimentación aluvial, coluvial, fluvial y están determinados por agentes móviles como son el agua, gravedad, viento, etc.

**Tabla 9**

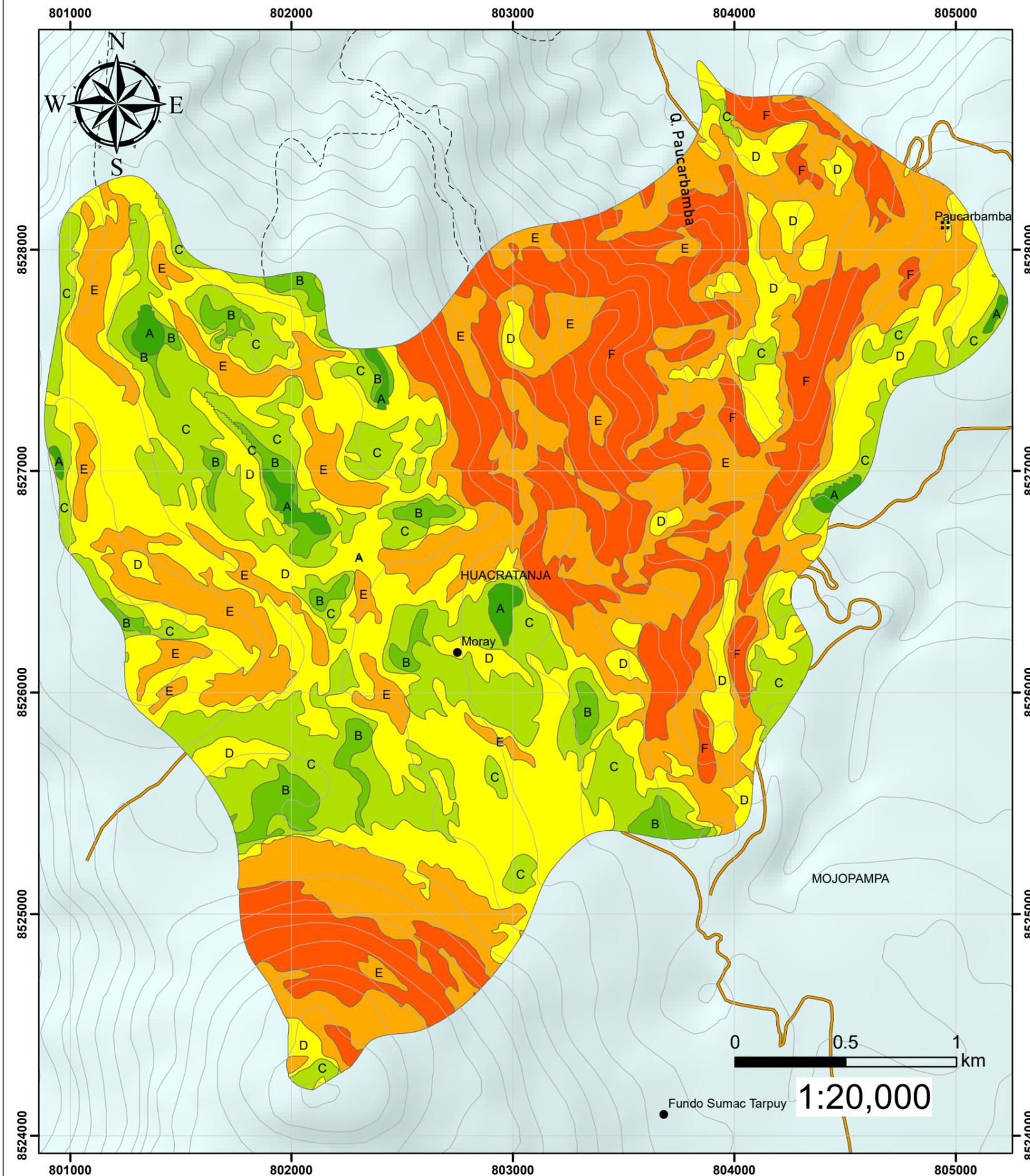
*Clasificación de los procesos agradacionales, según agente responsable.*

<b>Proceso Geomorfológico</b>	<b>Fuerza o Agente</b>
Sedimentación Coluvial	Gravedad, lluvia, escurrimiento
Sedimentación Diluvial	Gravedad y agua del suelo
Sedimentación Aluvial	Agua de Escorrentía
(Costero-Marino y Lacustre)	Corrientes de deriva litoral y corrientes de marea
Sedimentación Eólica	Viento
Sedimentación Glaciárica	Glaciares
Sedimentación Mixta	Combinación de los anteriores

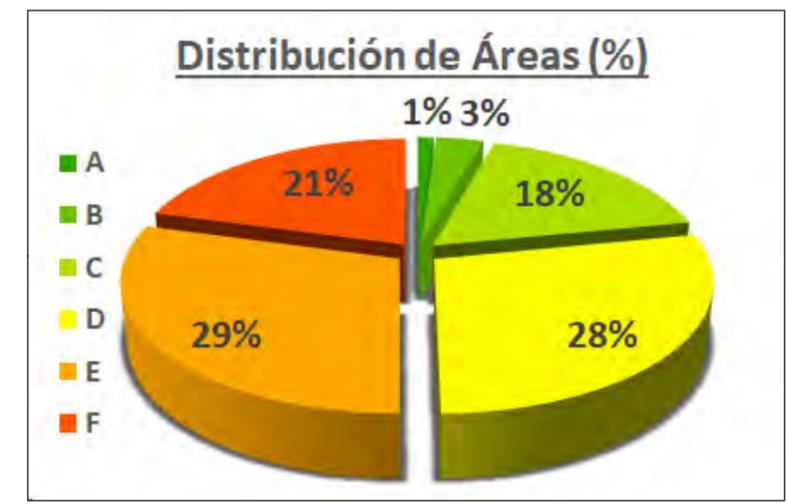
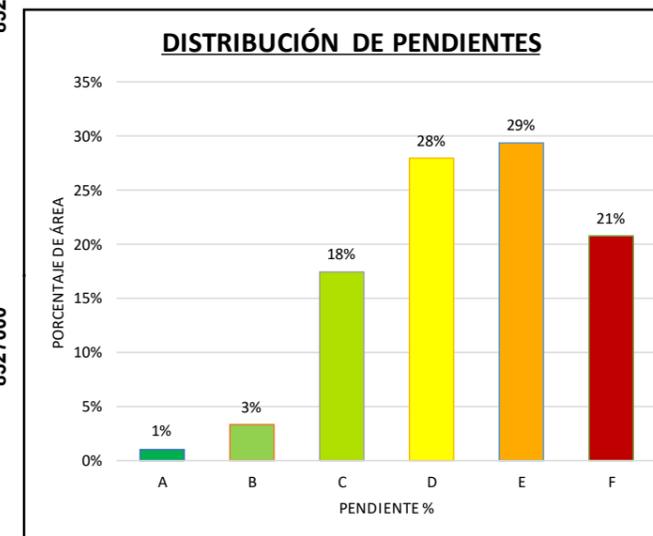
*Nota.* Fuente: (Villota, 2005).

Denudacional: Representado con la letra (D) el proceso denudacional corresponde a todos los procesos de degradación, remodelado y reducción paulatina de relieves iniciales o superficie terrestre en general ocasionado por meteorización de masas rocosas, movimientos en masa y la acción combinada de agentes geomorfológicos, siendo los más importantes: el agua de lluvia y de escorrentía; etc.

# MAPA DE PENDIENTES



LEYENDA					
Clase de Pendiente	Pendiente %	Descripción	Area(Ha)	Area(KM2)	Area (%)
A	0-2	Allanada	11.88	0.12	1.10%
B	2-4	Ligeramente Inclinado	35.61	0.36	3.30%
C	4-8	Moderadamente Inclinado	188.83	1.88	17.50%
D	8-15	Fuertemente Inclinado	301.56	3.02	27.94%
E	15-25	Moderadamente Empinado	317.19	3.17	29.40%
F	25-50	Empinado	223.93	2.24	20.75%
<b>TOTAL</b>			<b>1079.00</b>	<b>10.79</b>	<b>100%</b>



**"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGÍCO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"**

**PLANO PENDIENTES**

<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras	 <b>PGM</b> <b>04</b>
Escala Indicada	Fecha: Marzo del 2023	

### 3.8.7 Fisiografía de la Cuenca Paucarbamba

Una vez concluida los elementos de clasificación fisiográfica, se procedió a integrar las unidades de gran paisaje, paisaje, sub paisaje, con los elementos de paisaje (pendientes) y el ambiente morfodinámico, el resultado obtenido es el mapa fisiográfico de la cuenca Paucarbamba. En la tabla 10 se resumen las unidades fisiográficas integradas de la zona de estudio.

**Tabla 10**

*Unidades Fisiográficas de la cuenca Paucarbamba.*

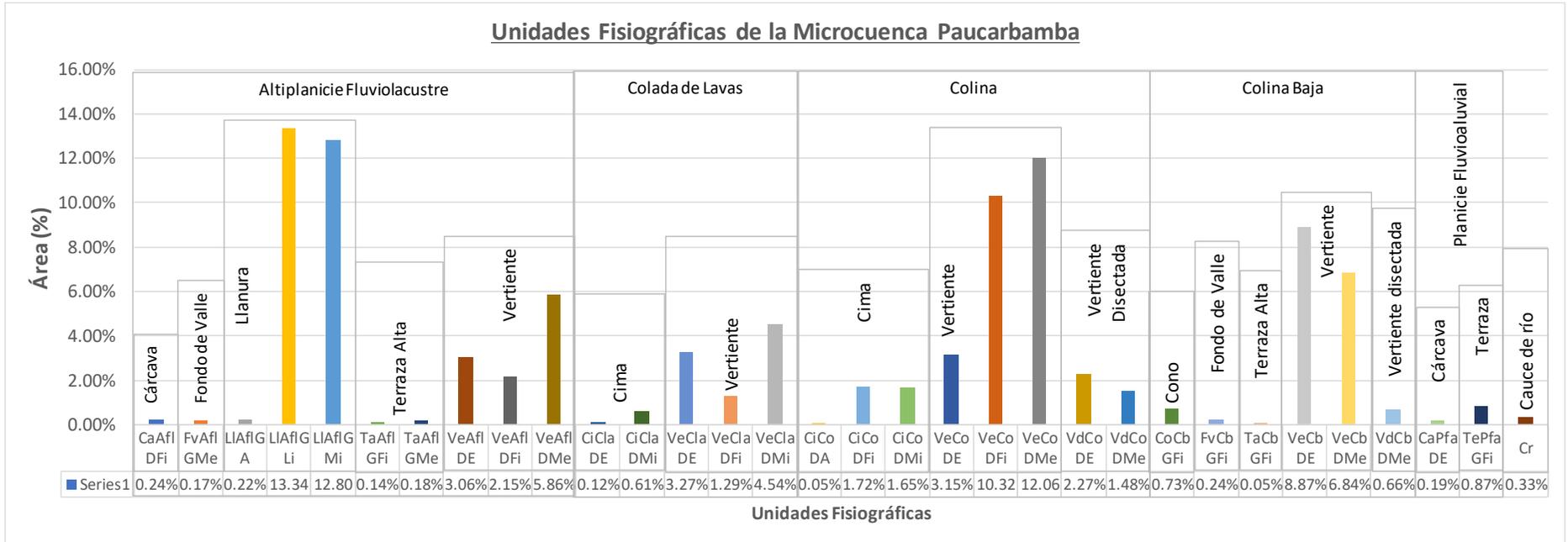
Unidad Fisiográfica	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)
Cárcava de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Fuertemente Inclinado	CaAfIDFi	2.61	0.24
Fondo de Valle de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Moderadamente Empinado	FvAfIGMe	1.87	0.17
Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Allanada	LIAfIGA	2.33	0.22
Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Ligeramente Inclinado	LIAfGLi	143.87	13.34
Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Moderadamente Allanada	LIAfIGA	3.02	0.28
Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Moderadamente Inclinado	LIAfGMi	138.01	12.80
Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Moderadamente Inclinado	LIAfIGA	2.70	0.25
Terraza Alta de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Fuertemente Inclinado	TaAfIGFi	1.48	0.14
Terraza Alta de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Moderadamente Empinado	TaAfIGMe	1.99	0.18
Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Empinado	VeAfIDE	32.98	3.06
Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Fuertemente Inclinado	VeAfIDFi	23.18	2.15
Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Moderadamente Empinado	VeAfIDMe	63.21	5.86
Cima de Colada de Lavas denudacional Empinado	CiClaDE	1.35	0.12
Cima de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado	CiClaDMi	6.61	0.61
Vertiente de Colada de Lavas denudacional Empinado	VeClaDE	35.22	3.27
Vertiente de Colada de Lavas denudacional Fuertemente Inclinado	VeClaDFi	13.92	1.29
Vertiente de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado	VeClaDMi	48.98	4.54
Cima de Colina denudacional Allanada	CiCoDA	0.53	0.05
Cima de Colina denudacional Fuertemente Inclinado	CiCoDFi	18.59	1.72

Cima de Colina denudacional Moderadamente Inclinado	CiCoDMi	17.76	1.65
Vertiente de Colina denudacional Empinado	VeCoDE	34.01	3.15
Vertiente de Colina denudacional Fuertemente Inclinado	VeCoDFi	111.29	10.32
Vertiente de Colina denudacional Moderadamente Empinado	VeCoDMe	130.09	12.06
Vertiente Disectada de Colina denudacional Empinado	VdCoDE	24.53	2.27
Vertiente Disectada de Colina denudacional Moderadamente Empinado	VdCoDMe	15.93	1.48
Cono de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado	CoCbGFi	7.90	0.73
Fondo de Valle de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado	FvCbGFi	2.57	0.24
Terraza Alta de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado	TaCbGFi	0.54	0.05
Vertiente de Colina Baja denudacional Empinado	VeCbDE	95.67	8.87
Vertiente de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado	VeCbDMe	73.78	6.84
Vertiente Disectada de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado	VdCbDMe	7.15	0.66
Cárcava de Planicie Fluvioaluvial denudacional Empinado	CaPfaDE	2.01	0.19
Terraza de Planicie Fluvioaluvial agradacional Fuertemente Inclinado	TePfaGFi	9.38	0.87
Cauce de rio	Ca	3.52	0.33
<b>Total</b>		<b>1078.55</b>	<b>100</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 13**

*Gráfico de barras de distribución de las áreas de unidades fisiográficas en la cuenca Paucarbamba.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

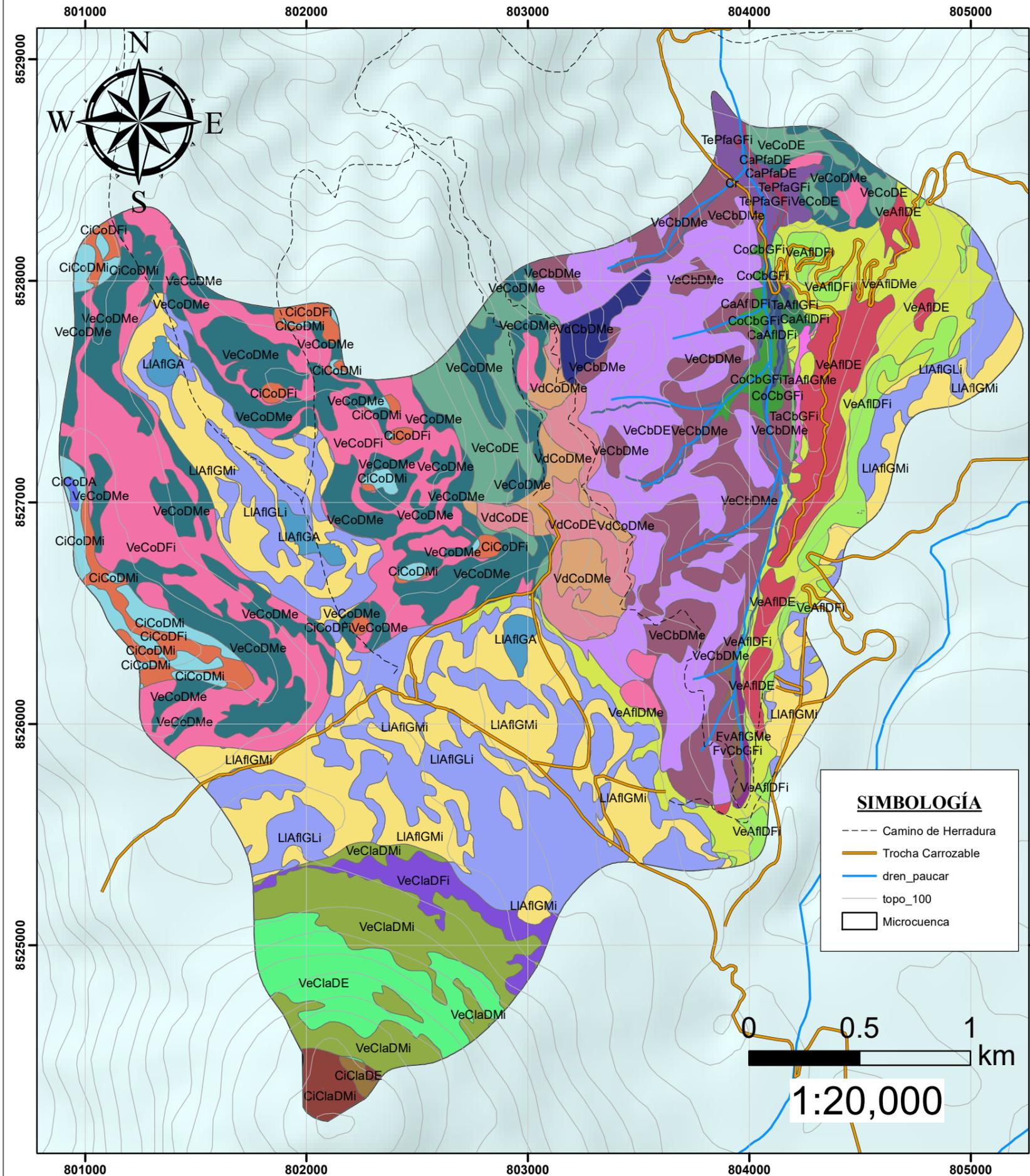
Tabla 11

Unidades Fisiográficas identificadas en la cuenca Paucarbamba.

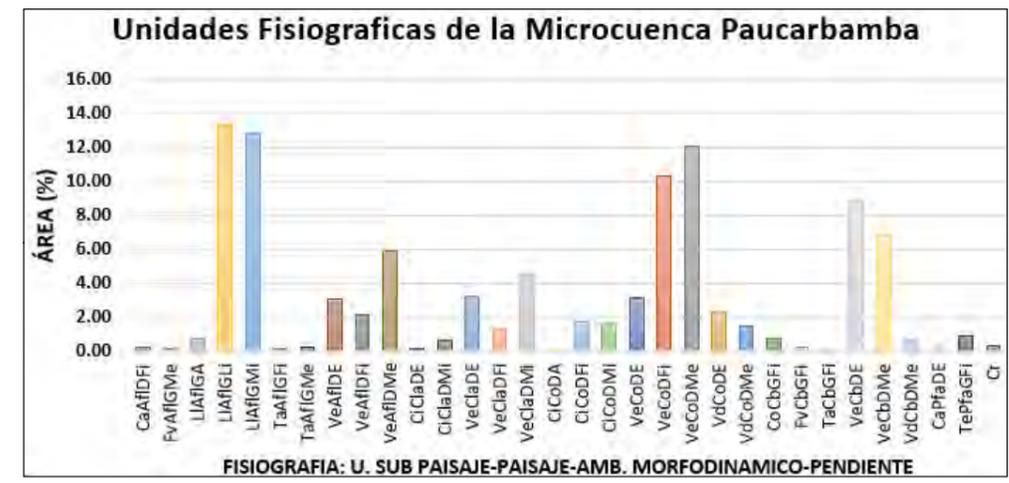
Provincia Fisiográfica	Provincia Climática	Gran Paisaje	Área (Ha)	Paisaje	Área (Ha)	Sub Paisaje	Área (Ha)	Área (%)	Elementos de Paisaje (Pendientes)	Clase	Unidad Fisiográfica	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)		
Altiplano	SEMIÁRIDO SEMIFRÍGIDO - SEMISECO SEMIFRÍO	Altiplanicie Fluvioacustre (Afl)	417.25	Altiplanicie Fluvioacustre (Afl)	417.25	Carcava (Ca)	2.61	0.24	Fuertemente Inclinado	D	Carcava de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Fuertemente Inclinado	CaAflDFI	2.61	0.24		
						Fondo de Valle (Fv)	1.87	0.17	Moderadamente Empinado	E	Fondo de Valle de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Moderadamente Empinado	FvAflGMe	1.87	0.17		
						Llanura (Ll)	289.94	26.97	Allanada	A	Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Allanada	LlAflGA	8.05	0.75		
									Ligeramente Inclinado	B	Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Ligeramente Inclinado	LlAflGLi	143.87	13.34		
						Terraza Alta (Ta)	3.48	0.32	Fuertemente Inclinado	D	Terraza Alta de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Fuertemente Inclinado	TaAflGFI	1.48	0.14		
									Moderadamente Empinado	E	Terraza Alta de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Moderadamente Empinado	TaAflGMe	1.99	0.18		
						Vertiente (Ve)	119.37	11.10	Empinado	F	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Empinado	VeAflDE	32.98	3.06		
									Fuertemente Inclinado	D	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Fuertemente Inclinado	VeAflDFI	23.18	2.15		
									Moderadamente Empinado	E	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Moderadamente Empinado	VeAflDMe	63.21	5.86		
						Cima (Ci)	7.96	0.74	Empinado	F	Cima de Colada de Lavas denudacional Empinado	CiClaDE	1.35	0.12		
		Moderadamente Inclinado	C	Cima de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado	CiClaDMi				6.61	0.61						
		Empinado	F	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Empinado	VeClaDE				35.22	3.27						
		Vertiente (Ve)	98.11	9.13	Fuertemente Inclinado	D	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Fuertemente Inclinado	VeClaDFI	13.92	1.29						
					Moderadamente Inclinado	C	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado	VeClaDMi	48.98	4.54						
					Cima (Ci)	36.88	3.43	Allanada	A	Cima de Colina denudacional Allanada	CiCoDA	0.53	0.05			
		Fuertemente Inclinado	D	Cima de Colina denudacional Fuertemente Inclinado				CiCoDFi	18.59	1.72						
		Vertiente (Ve)	275.38	25.62	Moderadamente Inclinado	E	Cima de Colina denudacional Moderadamente Inclinado	CiCoDMi	17.76	1.65						
					Empinado	F	Vertiente de Colina denudacional Empinado	VeCoDE	34.01	3.15						
					Fuertemente Inclinado	D	Vertiente de Colina denudacional Fuertemente Inclinado	VeCoDFI	111.29	10.32						
		Vertiente Disectada (Vd)	40.45	3.76	Empinado	F	Vertiente Disectada de Colina denudacional Empinado	VdCoDE	24.53	2.27						
					Moderadamente Empinado	E	Vertiente Disectada de Colina denudacional Moderadamente Empinado	VdCoDMe	130.09	12.06						
					Cono (Co)	7.90	0.74	Fuertemente Inclinado	D	Cono de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado	CoCbGFI	7.90	0.73			
		Fondo de Valle (Fv)	2.57	0.24	Fuertemente Inclinado	D	Fondo de Valle de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado	FvCbGFI	2.57	0.24						
					Terraza Alta (Ta)	0.54	0.05	Fuertemente Inclinado	D	Terraza Alta de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado	TaCbGFI	0.54	0.05			
					Vertiente (Ve)	169.45	15.76	Empinado	F	Vertiente de Colina Baja denudacional Empinado	VeCbDE	95.67	8.87			
								Moderadamente Empinado	E	Vertiente de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado	VeCbDMe	73.78	6.84			
					Vertiente Disectada (Vd)	7.15	0.67	Moderadamente Empinado	E	Vertiente Disectada de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado	VdCbDMe	7.15	0.66			
		Planicie (PL)	11.40	Planicie Fluvioaluvial	11.40	Carcava (Ca)	2.01	0.19	Empinado	F	Carcava de Planicie Fluvioaluvial denudacional Empinado	CaPfaDE	2.01	0.19		
						Terraza (Te)	9.38	0.87	Fuertemente Inclinado	D	Terraza de Planicie Fluvioaluvial agradacional Fuertemente Inclinado	TePfaGFI	9.38	0.87		
		Cauce de río					3.52	0.00				Cauce de río	Cr	3.52	0.33	
		Total							1078.56	100.00					1078.56	100.00

Nota. Fuente: Elaboración propia.

# Mapa Fisiográfico



LEYENDA				
Unidad Fisiográfica	Símbolo	Área (Ha)	Área (Km2)	Área (%)
Carcava de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Fuertemente Inclinado	CaAfIDFi	2.61	0.026	0.24
Carcava de Planicie Fluvioaluvial denudacional Empinado	CaPfaDE	2.01	0.020	0.19
Cauce de río	Cr	3.52	0.035	0.33
Cima de Colada de Lavas denudacional Empinado	CiClaDE	1.35	0.013	0.12
Cima de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado	CiClaDMi	6.61	0.066	0.61
Cima de Colina denudacional Allanada	CiCoDA	0.53	0.005	0.05
Cima de Colina denudacional Fuertemente Inclinado	CiCoDFi	18.59	0.186	1.72
Cima de Colina denudacional Moderadamente Inclinado	CiCoDMi	17.76	0.178	1.65
Cono de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado	CoCbGFi	7.90	0.079	0.73
Fondo de Valle de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Moderadamente Empinado	FvAfIGMe	1.87	0.019	0.17
Fondo de Valle de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado	FvCbGFi	2.57	0.026	0.24
Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Allanada	LIAfIGA	8.05	0.081	0.75
Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Ligeramente Inclinado	LIAfIGLi	143.87	1.439	13.34
Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Moderadamente Inclinado	LIAfIGMi	138.01	1.380	12.80
Terraza Alta de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Fuertemente Inclinado	TaAfIGFi	1.48	0.015	0.14
Terraza Alta de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Moderadamente Empinado	TaAfIGMe	1.99	0.020	0.18
Terraza Alta de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado	TaCbGFi	0.54	0.005	0.05
Terraza de Planicie Fluvioaluvial agradacional Fuertemente Inclinado	TePfaGFi	9.38	0.094	0.87
Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Empinado	VeAfIDE	32.98	0.330	3.06
Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Fuertemente Inclinado	VeAfIDFi	23.18	0.232	2.15
Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Moderadamente Empinado	VeAfIDMe	63.21	0.632	5.86
Vertiente de Colada de Lavas denudacional Empinado	VeClaDE	35.22	0.352	3.27
Vertiente de Colada de Lavas denudacional Fuertemente Inclinado	VeClaDFi	13.92	0.139	1.29
Vertiente de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado	VeClaDMi	48.98	0.490	4.54
Vertiente de Colina Baja denudacional Empinado	VeCbDE	95.67	0.957	8.87
Vertiente de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado	VeCbDMe	73.78	0.738	6.84
Vertiente de Colina denudacional Empinado	VeCoDE	34.01	0.340	3.15
Vertiente de Colina denudacional Fuertemente Inclinado	VeCoDFi	111.29	1.113	10.32
Vertiente de Colina denudacional Moderadamente Empinado	VeCoDMe	130.09	1.301	12.06
Vertiente Disectada de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado	VdCbDMe	7.15	0.071	0.66
Vertiente Disectada de Colina denudacional Empinado	VdCoDE	24.53	0.245	2.27
Vertiente Disectada de Colina denudacional Moderadamente Empinado	VdCoDMe	15.93	0.159	1.48
<b>TOTAL</b>		<b>1078.56</b>	<b>10.79</b>	<b>100.00</b>



**"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGÍCO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"**

**PLANO FISIOGRAFÍCO**

<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras		<b>PGM</b> <b>05</b>
Escala Indicada	Fecha: Marzo del 2023		

### 3.8.8 Descripción de las unidades fisiográficas en la cuenca Paucarbamba

#### **Cárcava de Altiplanicie Fluvioacustre y planicie Fluvioaluvial denudación con pendiente D y F**

Comprenden una extensión de 4.62 hectáreas y representa el 0.43 % de la superficie en la cuenca; el relieve característico es de muy inclinado a empinado en las zonas más estrechas con pendientes de 8% a 50 %. Se ubica en la parte baja-media de la cuenca en ambas márgenes del eje de quebrada originado por la escorrentía de aguas pluviales que erosionan materiales no consistentes e inconsolidados como son suelos poco permeables, sedimentos limoso-arenosos gravas con clastos angulosos.

#### **Figura 14**

*Cárcava de altiplanicie fluvio lacustre y planicie Fluvioaluvial, vista hacia el este.*



*Nota.* Fuente: Propia

#### **Fondo de Valle de Altiplanicie Fluvioacustre y colina baja agradacional con pendiente D y E.**

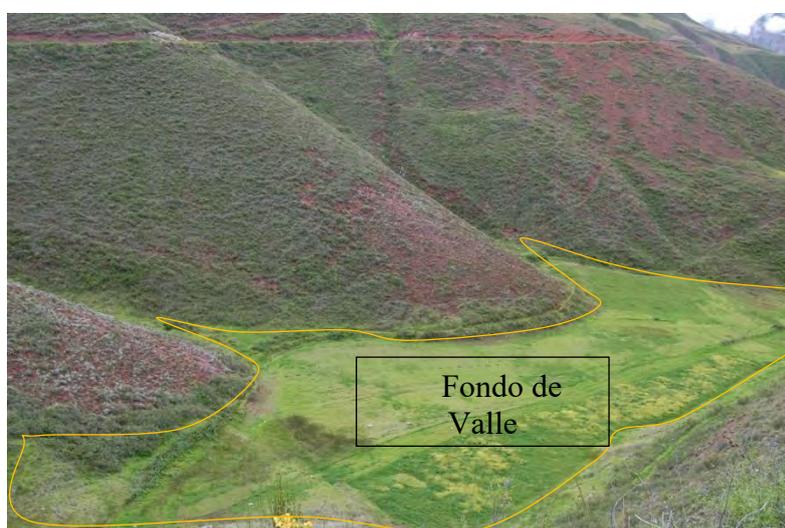
Tienen una extensión de 4.44 hectáreas, esto representa un 0.41 % del área total de la zona de estudio. Presentan un relieve fuertemente inclinado a moderadamente empinado las pendientes

varían desde el 8% a 25%, se ubican en la parte sur este de la cuenca entre las formaciones de la formación Quilque y la formación maras, el material por el que están compuesto son sedimentos limo arenoso con bloques caídos de areniscas, lutitas, y yesos.

En esta unidad en las zonas más amplias se desarrolla el cultivo de maíz y hay la presencia de bofedales.

### **Figura 15**

*Fondo de Valle de Altiplanicie Fluviolacustre y colina baja, vista hacia el noroeste.*



*Nota. Fuente: Propia.*

### **Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional con pendiente A a C**

Comprende un área de 289.93 hectáreas, esto representa el 26.88 % del área total en la cuenca Paucarbamba. El relieve característico en esta unidad fisiográfica varía del tipo allanado a ligeramente inclinado con pendiente 0 % a 8%.

Esta unidad fisiográfica atraviesa la cuenca de estudio en sentido oeste a este y está conformado por sedimentos limo-arcillosos, arenosos y diatomíticos de un origen lacustre con clastos angulosos de areniscas. Es en esta unidad donde se realiza la mayor cantidad de actividad agrícola donde se trabajan productos como maíz, habas, alfa-alfa, etc.

**Figura 16**

*Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre, vista hacia el sur este.*



*Nota.* Fuente: Propia.

**Terraza Alta de Altiplanicie Fluviolacustre y Colina Baja agradacional con pendiente D y E**

Estas unidades ocupan una superficie de 4.02 hectáreas y representan el 0.37 % del área total de la cuenca Paucarbamba. el relieve que se presenta en estas unidades es fuertemente inclinado a moderadamente empinado con una pendiente de 8% a 25%. Se ubica en la parte norte de la cuenca y está compuesto por sedimentos limo-arenosos, clastos angulosos de areniscas y yesos producto de la erosión de colinas y vertientes circundantes.

**Figura 17**

*Terraza alta, vista hacia el noreste.*

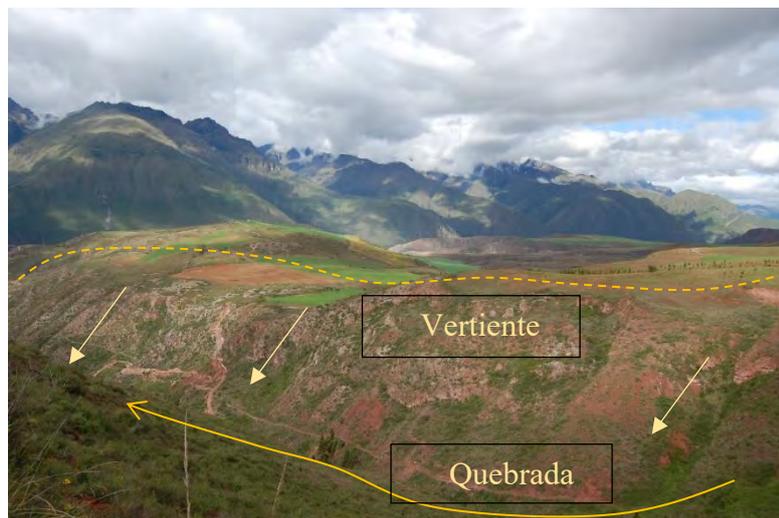


### **Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional con pendiente D a F**

Ocupa un área de 119.37 hectáreas y representa un porcentaje 11.07, del área total evaluada, el relieve característico es del tipo fuertemente inclinado a empinado con pendiente del 8% a 50% ocupa la margen derecha de la cuenca y ciertos sectores en la margen derecha de la cuenca. Litológicamente está compuesto por bloques de yesos y lutitas de la formación Maras, así como material coluvial producto de la erosión en surcos y cárcavas que por gravedad se depositan en dirección del eje de la quebrada.

#### **Figura 18**

*Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre, vista hacia el noreste.*



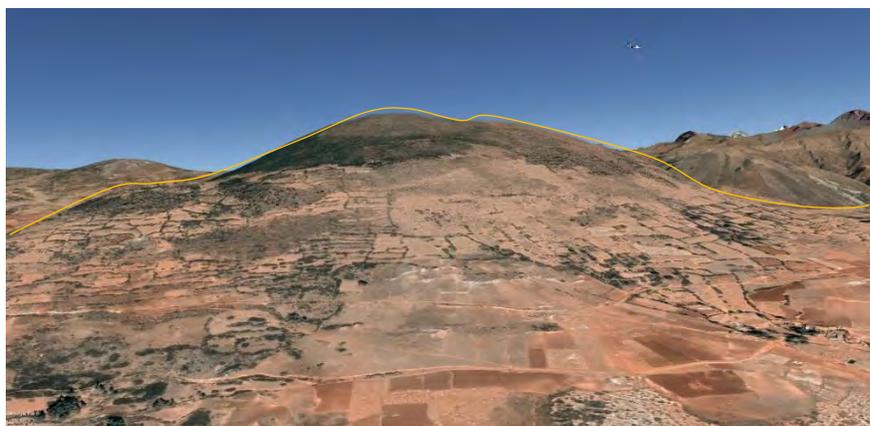
*Nota.* Fuente: Propia.

### **Cima de Colada de lavas denudacional con pendiente C y F**

Ocupan una superficie 7.96 hectáreas y representa el 0.74 % del área total estudiada presenta un relieve moderadamente inclinado hacia la cima y empinado en los flancos, la pendiente varía desde los 4 % a 50%. Esta unidad está emplazada en la parte Sur de la cuenca en el cerro Huayna Orcco conformada por coladas lávicas andesitas de la formación Rumicolca.

**Figura 19**

*Cerro Huayna Orcco, vista hacia el sur.*



*Nota.* Fuente: (Google Earth).

**Vertiente de colada de lavas denudacional con pendiente C a F**

Ocupan un área de 98.11 hectáreas, esto representa el 9.10 % de la superficie total de la cuenca, el relieve que presenta estas unidades varía de moderadamente inclinado a empinado con pendiente de 4% a 50%. Litológicamente está compuesto por derrames andesíticos hacia la parte media-alta y sedimentos limosos-arenosos hacia la parte baja donde se establecen pequeñas parcelas de cultivo.

**Cima de colina denudacional con pendiente A a D**

Comprenden un área de 36.88 hectáreas y representa un porcentaje 3.42, del área total evaluada, el área total evaluada, el relieve característico es del tipo allanado, a fuertemente inclinado con pendiente de 0% a 15%, se ubica al extremo oeste de la cuenca. Está compuesto por rocas de la formación Quilque.

**Figura 20**

*Cima de colina denudacional, vista hacia el sur.*



*Nota.* Fuente: (Google Earth).

**Vertiente de colina y colina baja denudacional con pendiente D a F**

Ocupan una superficie de 444.83 hectáreas lo que representa un 41.24% de la superficie total de la zona de estudio, el relieve característico en estas unidades corresponden a fuertemente inclinado a empinado con pendientes que varían de 8% a 50%, se ubican con mayor cantidad en la zona occidental de la cuenca y con menor proporción en la parte norte de la zona de estudio. Litológicamente está compuesto por afloramientos de areniscas, lutitas fracturadas de la Formación Quilque, suelos coluviales en matriz limo-arenosa con fragmentos de rocas y clastos angulosos de areniscas, en esta unidad están presentes fenómenos de remoción en masa como deslizamientos antiguos y actuales, reptación de suelos etc.

**Figura 21**

*Vertiente Colina, vista hacia el sureste.*



*Nota.* Fuente: Propia.

**Vertiente disectada de colina y colina baja denudacional con pendiente E y F**

Estas unidades fisiográficas abarcan una superficie de 47.6 hectáreas lo que representa un 4.41% de la superficie total de la cuenca Paucarbamba, el relieve que se presenta es del tipo moderadamente empinado a empinado con pendientes de 15% a 50%. Presentan una topografía disectada en la que existen procesos de remoción en masa, erosión mediante cárcavas y surcos que forman quebradas que confluyen hacia la quebrada principal.

**Figura 22**

*Vertiente Colina disectada, vista hacia el noroeste.*



*Nota.* Fuente: Propia.

### **Cono de colina baja agradacional Fuertemente Inclinado con pendiente D**

Esta unidad presenta una superficie de 7.9 hectáreas lo que representa un 0.73 % de la superficie total de la cuenca de estudio, presenta un relieve fuertemente inclinado con pendiente de 8% a 15%. Esta unidad se ubica en la margen izquierda de la cuenca Paucarbamba formado por pequeños conos coluviales constituidos por materiales coluviales sedimentos limo-arenosos y clastos angulosos dispuestos de manera caótica, producto de la erosión de areniscas y lutitas de las colinas circundantes.

### **Figura 23**

*Vertiente Conos coluviales, vista hacia el suroeste.*



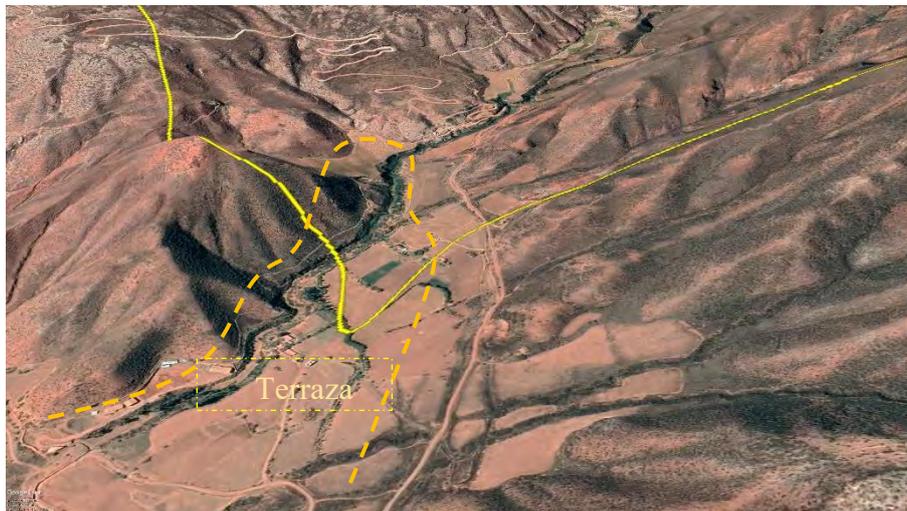
*Nota.* Fuente: (Google Earth).

### **Terraza de Planicie Fluvioaluvial agradacional con pendiente D**

Comprende una extensión de 9.38 hectáreas lo que representa el 0.87 % del área total de la cuenca Paucarbamba, presenta un relieve fuertemente inclinado con pendientes que varían desde los 8 % a 15%, se ubica en el extremo norte de la cuenca cercano al punto de aforo. Está conformado por sedimentos limo-arenosos con clastos angulosos de areniscas, yesos.

**Figura 24**

Terraza de planicie fluvioaluvial.



*Nota.* Fuente: (Google Earth).

**Cauce de río**

Unidad fisiográfica que representa el cauce o lecho de río, el que tiene contacto directo con el río, es el canal natural por donde circulan las aguas de origen pluvial. Esta unidad abarca una superficie de 3.52 hectáreas y representa el 0.33 % de la superficie total de la cuenca.

**3.8.9 Implicancias de las unidades fisiográficas en la cuenca Paucarbamba**

El análisis de la fisiografía para el presente estudio tiene por fin analizar las características físicas del entorno morfológico de la cuenca Paucarbamba, entendiendo los diferentes procesos que modelaron la actual fisiografía entre ellos los procesos geológicos, climáticos, tectónicos y los diferentes eventos de modelado.

Conociendo las diferentes unidades fisiográficas se tuvo un especial énfasis en la parte media-alta de la cuenca por ser la zona de explotación y recarga en terrenos elevados, las unidades fisiográficas de vertiente de colina denudacional (fuertemente moderadamente inclinado y empinado), Llanuras de altiplanicie fluvioalacustre agradacional (ligeramente y moderadamente inclinados), finalmente las unidades de vertiente de colada de lavas denudacional (empinado

moderadamente y fuertemente inclinados) presentan optimas características para la construcción de infraestructura de recarga artificial de acuíferos.

Hoy en día son numerosos los métodos de recarga artificial de acuíferos, siendo las de mejor potencial en la zona de estudio cochas o microrepresas de siembra de agua, zanjas de infiltración, Amunas y arborización de especies nativas. Se proponen estos sistemas debido a la disponibilidad de terrenos en desuso debido a la pendiente existente, material sedimentario consolidado y no consolidado, alto fracturamiento de los materiales de afloramientos y subsuelo como son las areniscas de la Formación Quilque y andesitas de la Formación Rumicolca.

### **Figura 25**

Zanjas de infiltracion en vertientes de montaña con pendiente variable.



*Nota.* Fuente: Agriculturers.com.

#### **3.8.10 Geomorfología de la Cuenca Paucarbamba**

La geomorfología local se determinó mediante la integración y superposición de los mapas base elaborados anteriormente (mapa fisiográfico), con la litología presente en la zona de estudio.

Se realizo la descripción de las unidades con mayor extensión dentro de la cuenca Paucarbamba.

**Llanura de altiplanicie fluviolacustre agradacional ligeramente inclinado sedimentario arcillas - limos**

Esta unidad ocupa una extensión de 148.18 hectáreas esto representa el 13.28 de la superficie total el relieve característico es del tipo allanado a ligeramente inclinado con pendientes que varían de 0 % a 4 %. Compuesto por pequeños depósitos de diatomitas, suelos arcillosos - limosos, donde las comunidades cercanas realizan los trabajos de agricultura; esta unidad geomorfológica se emplaza en la zona centro de la cuenca y pequeños sectores al este.

**Figura 26**

Llanura de altiplanicie fluviolacustre.



*Nota.* Fuente: Propia.

**Llanura de altiplanicie fluviolacustre agradacional moderadamente inclinado sedimentario arcillas limos**

Ocupa un área de 135.67 hectáreas lo que representa el 12.58 % del área total de la zona de estudio, presenta un relieve allanado a moderadamente inclinado con pendientes de 0% a 8%, compuesto por depósitos de diatomitas, suelos arcillo-limosos con clastos angulosos de areniscas y yesos; esta unidad geomorfológica se ubica en la parte central y oeste de la zona de estudio.

### Vertiente de colina baja denudacional empinado sedimentaria areniscas y lutitas

Abarca una extensión de 66.76 hectáreas y representa el 6.19 % del área total de la cuenca de estudio, presenta un relieve empinado con pendientes de 25% a 50%, se ubica en la zona norte de la margen izquierda de la cuenca Paucarbamba, están compuesto por areniscas y lutitas altamente fracturadas

#### Figura 27

Vertiente de colina baja denudacional empinado sedimentaria areniscas y lutitas.



*Nota.* Fuente: Propia.

#### Tabla 12

*Unidades Geomorfológicas en la cuenca Paucarbamba*

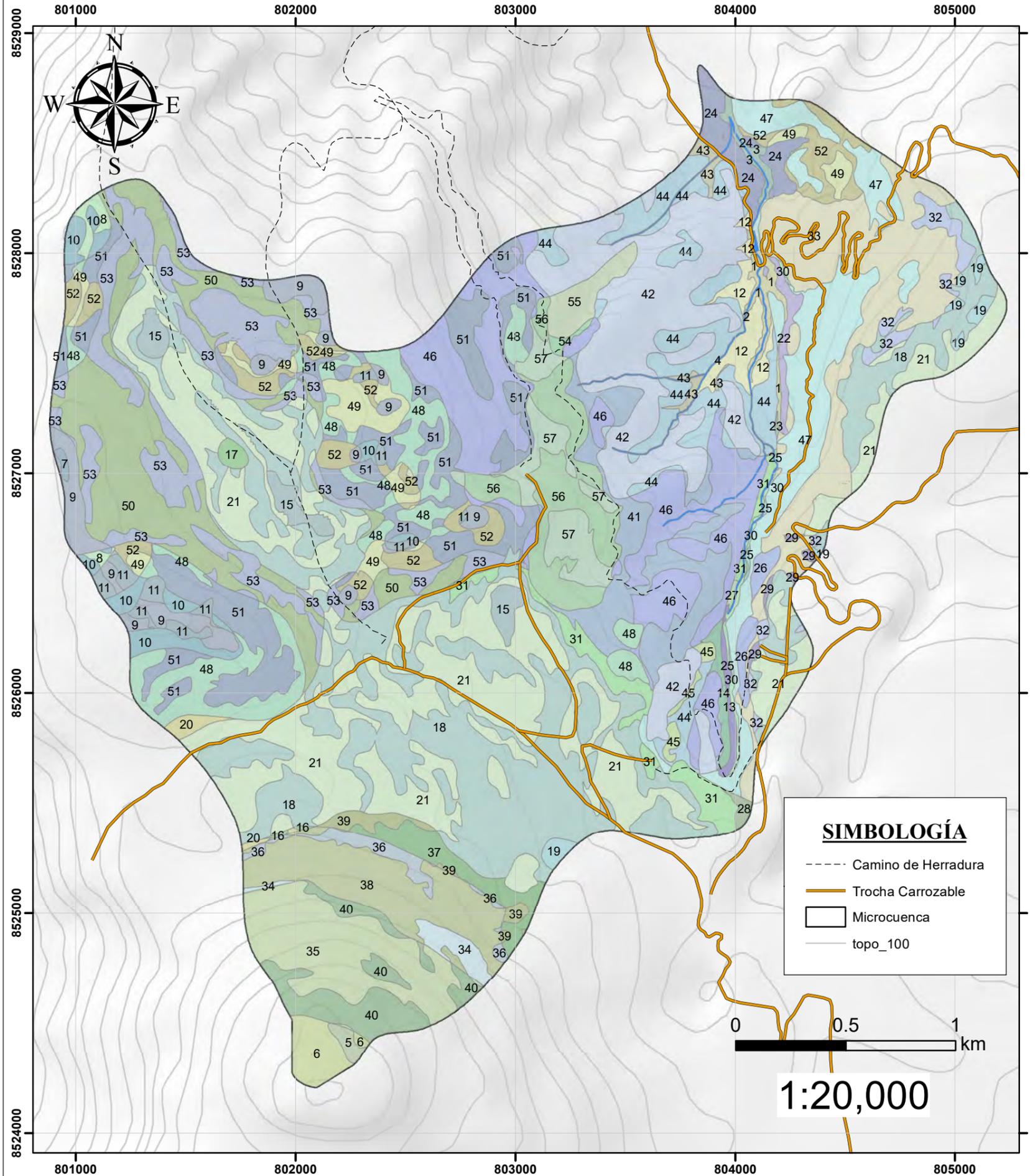
	<b>Unidades Geomorfológicas</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Área (%)</b>
1	Carcava de Altplanicie Fluviolacustre denudacional Fuertemente Inclinado Aluvial - Coluvial	CaAflDFiA	3.63	0.34
2	Carcava de Altplanicie Fluviolacustre denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentaria Areniscas	CaAflDFiS	0.06	0.01
3	Carcava de Planicie Fluvioaluvial denudacional Empinado Aluvial - Coluvial	CaPfaDEA	2.01	0.19

4	Cauce de rio denudacional	Cr	3.52	0.33
5	Cima de Colada de Lavas denudacional Empinado Volcanico Andesitas	CiClaDEV	1.35	0.12
6	Cima de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado Volcanico Andesitas	CiClaDMiV	6.61	0.61
7	Cima de Colina denudacional Allanada Sedimentario arcillas limos	CiCoDAS	0.53	0.05
8	Cima de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Coluvial	CiCoDFiC	2.32	0.22
9	Cima de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentaria Areniscas	CiCoDFiS	17.57	1.63
10	Cima de Colina denudacional Moderadamente Inclinado Coluvial	CiCoDMiC	10.65	0.99
11	Cima de Colina denudacional Moderadamente Inclinado Sedimentaria Areniscas	CiCoDMiS	6.29	0.58
12	Cono de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado Aluvial - Coluvial	CoCbGFiA	7.92	0.73
13	Fondo de Valle de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Moderadamente Empinado Aluvial - Coluvial	FvAflGMeA	1.87	0.17
14	Fondo de Valle de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado Aluvial - Coluvial	FvCbGFiA	2.52	0.23
15	Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Allanada Sedimentario arcillas limos	LIAflGAS	8.05	0.75
16	Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Ligeramente Inclinado Coluvial	LIAflGLiC	0.29	0.03
17	Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Ligeramente Inclinado Sedimentaria Areniscas	LIAflGLiS	1.41	0.13
18	Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Ligeramente Inclinado Sedimentario arcillas limos	LIAflGLiS	143.18	13.28
19	Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Ligeramente Inclinado Yesos y Lutitas	LIAflGLiY	3.43	0.32
20	Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Moderadamente Inclinado Coluvial	LIAflGMiC	1.98	0.18
21	Llanura de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Moderadamente Inclinado Sedimentario arcillas limos	LIAflGMiS	135.67	12.58
22	Terraza Alta de Altiplanicie Fluviolacustre agradacional Moderadamente Empinado Aluvial - Coluvial	TaAflGMeA	3.04	0.28
23	Terraza Alta de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado Yesos y Lutitas	TaCbGFiY	0.10	0.01
24	Terraza de Planicie Fluvioaluvial agradacional Fuertemente Inclinado Aluvial - Coluvial	TePfaGFiA	9.36	0.87
25	Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Empinado Aluvial - Coluvial	VeAflIDEA	0.44	0.04
26	Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Empinado Yesos y Lutitas	VeAflIDEY	3.57	0.33
27	Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Fuertemente Inclinado Coluvial	VeAflDFiC	0.28	0.03
28	Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentario arcillas limos	VeAflDFiS	0.91	0.08

29	Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Fuertemente Inclinado Yesos y Lutitas	VeAfIDFiY	1.24	0.11
30	Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Moderadamente Empinado Aluvial - Coluvial	VeAfIDMeA	1.65	0.15
31	Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Moderadamente Empinado Coluvial	VeAfIDMeC	12.85	1.19
32	Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Moderadamente Empinado Sedimentario arcillas limos	VeAfIDMeS	6.65	0.62
33	Vertiente de Altiplanicie Fluviolacustre denudacional Moderadamente Empinado Yesos y Lutitas	VeAfIDMeY	53.76	4.98
34	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Empinado Coluvial	VeClaDEC	4.21	0.39
35	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Empinado Volcanico Andesitas	VeClaDEV	31.01	2.87
36	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Fuertemente Inclinado Coluvial	VeClaDFiC	4.97	0.46
37	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentario arcillas limos	VeClaDFiS	8.95	0.83
38	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado Coluvial	VeClaDMiC	28.65	2.66
39	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado Sedimentario arcillas limos	VeClaDMiS	3.81	0.35
40	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado Volcanico Andesitas	VeClaDMiV	16.52	1.53
41	Vertiente de Colina Baja denudacional Empinado Coluvial	VeCbDEC	28.33	2.63
42	Vertiente de Colina Baja denudacional Empinado Sedimentaria Areniscas y Lutitas	VeCbDES	66.76	6.19
43	Vertiente de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado Aluvial - Coluvial	VeCbDMeA	2.62	0.24
44	Vertiente de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado Sedimentaria Areniscas	VeCbDMeS	35.16	3.26
45	Vertiente de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado Sedimentaria Areniscas y Lutitas	VeCbDMeS	1.98	0.18
46	Vertiente de Colina denudacional Empinado Coluvial	VeCoDEC	59.50	5.52
47	Vertiente de Colina denudacional Empinado Sedimentaria Areniscas	VeCoDES	43.19	4.00
48	Vertiente de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Coluvial	VeCoDFiC	37.53	3.48
49	Vertiente de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentaria Areniscas	VeCoDFiS	14.11	1.31
50	Vertiente de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentario arcillas limos	VeCoDFiS	58.18	5.39
51	Vertiente de Colina denudacional Moderadamente Empinado Coluvial	VeCoDMeC	57.27	5.31

52	Vertiente de Colina denudacional Moderadamente Empinado Sedimentaria Areniscas	VeCoDMeS	23.96	2.22
53	Vertiente de Colina denudacional Moderadamente Empinado Sedimentario arcillas limos	VeCoDMeS	49.53	4.59
54	Vertiente Disectada de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado Coluvial	VdCbDMeC	0.78	0.07
55	Vertiente Disectada de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado Sedimentaria Areniscas	VdCbDMeS	6.32	0.59
56	Vertiente Disectada de Colina denudacional Empinado Coluvial	VdCoDEC	24.71	2.29
57	Vertiente Disectada de Colina denudacional Moderadamente Empinado Coluvial	VdCoDMeC	15.80	1.46
	<b>Total</b>		<b>1078.55</b>	<b>100</b>

# Mapa Geomorfológico



LEYENDA					
Codigo	Unidades Geomorfológicas	Símbolo	Área (Ha)	Área (Km2)	Área (%)
1	Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Ligeramente Inclinado Sedimentario arcillas limos	LIAfIGLIS	143.18	1.43	13.28
2	Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Moderadamente Inclinado Sedimentario arcillas limos	LIAfIGMiS	135.67	1.36	12.58
3	Vertiente de Colina Baja denudacional Empinado Sedimentaria Areniscas y Lutitas	VeCbDES	66.76	0.67	6.19
4	Vertiente de Colina denudacional Empinado Coluvial	VeCoDEC	59.50	0.60	5.52
5	Vertiente de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentario arcillas limos	VeCoDFIS	58.18	0.58	5.39
6	Vertiente de Colina denudacional Moderadamente Empinado Coluvial	VeCoDMeC	57.27	0.57	5.31
7	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Moderadamente Empinado Yesos y Lutitas	VeAfIDMeY	53.76	0.54	4.98
8	Vertiente de Colina denudacional Moderadamente Empinado Sedimentario arcillas limos	VeCoDMeS	49.53	0.50	4.59
9	Vertiente de Colina denudacional Empinado Sedimentaria Areniscas	VeCoDES	43.19	0.43	4.00
10	Vertiente de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Coluvial	VeCoDFIC	37.53	0.38	3.48
11	Vertiente de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado Sedimentaria Areniscas	VeCbDMeS	35.16	0.35	3.26
12	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Empinado Volcanico Andesitas	VeClaDEV	31.01	0.31	2.87
13	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado Coluvial	VeClaDMIC	28.65	0.29	2.66
14	Vertiente de Colina Baja denudacional Empinado Coluvial	VeCbDEC	28.33	0.28	2.63
15	Vertiente Disectada de Colina denudacional Empinado Coluvial	VdCoDEC	24.71	0.25	2.29
16	Vertiente de Colina denudacional Moderadamente Empinado Sedimentaria Areniscas	VeCoDMeS	23.96	0.24	2.22
17	Cima de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentaria Areniscas	CiCoDFIS	17.57	0.17	1.63
18	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado Volcanico Andesitas	VeClaDMIV	16.52	0.17	1.53
19	Vertiente Disectada de Colina denudacional Moderadamente Empinado Coluvial	VdCoDMeC	15.80	0.16	1.46
20	Vertiente de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentaria Areniscas	VeCoDFIS	14.11	0.14	1.31
21	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Moderadamente Empinado Coluvial	VeAfIDMeC	12.85	0.13	1.19
22	Cima de Colina denudacional Moderadamente Inclinado Coluvial	CiCoDMIC	10.65	0.11	0.99
23	Terraza de Planicie Fluvioaluvial agradacional Fuertemente Inclinado Aluvial - Coluvial	TePfaGFIA	9.36	0.09	0.87
24	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentario arcillas limos	VeClaDFIS	8.95	0.09	0.83
25	Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Allanada Sedimentario arcillas limos	LIAfIGAS	8.05	0.08	0.75
26	Cono de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado Aluvial - Coluvial	CoCbGFIA	7.92	0.08	0.73
27	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Moderadamente Empinado Sedimentario arcillas limos	VeAfIDMeS	6.65	0.07	0.62
28	Cima de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado Volcanico Andesitas	CiClaDMIV	6.61	0.07	0.61
29	Vertiente Disectada de Colina denudacional Moderadamente Empinado Sedimentaria Areniscas	VdCbDMeS	6.32	0.06	0.59
30	Cima de Colina denudacional Moderadamente Inclinado Sedimentaria Areniscas	CiCoDMIS	6.29	0.06	0.58
31	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Fuertemente Inclinado Coluvial	VeClaDFIC	4.97	0.05	0.46
32	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Empinado Coluvial	VeClaDEC	4.21	0.04	0.39
33	Vertiente de Colada de Lavas denudacional Moderadamente Inclinado Sedimentario arcillas limos	VeClaDMIS	3.81	0.04	0.35
34	Carcava de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Fuertemente Inclinado Aluvial - Coluvial	CaAfIDFIA	3.63	0.04	0.34
35	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Empinado Yesos y Lutitas	VeAfIDEY	3.57	0.04	0.33
36	Cauce de rio denudacional	Cr	3.52	0.04	0.33
37	Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Ligeramente Inclinado Yesos y Lutitas	LIAfIGLIY	3.43	0.03	0.32
38	Terraza Alta de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Moderadamente Empinado Aluvial - Coluvial	TaAfIGMeA	3.04	0.03	0.28
39	Vertiente de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado Aluvial - Coluvial	VeCbDMeA	2.62	0.03	0.24
40	Fondo de Valle de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado Aluvial - Coluvial	FvCbGFIA	2.52	0.03	0.23
41	Cima de Colina denudacional Fuertemente Inclinado Coluvial	CiCoDFIC	2.32	0.02	0.22
42	Carcava de Planicie Fluvioaluvial denudacional Empinado Aluvial - Coluvial	CaPfaDEA	2.01	0.02	0.19
43	Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Moderadamente Inclinado Coluvial	LIAfIGMIC	1.98	0.02	0.18
44	Vertiente de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado Sedimentaria Areniscas y Lutitas	VeCbDMeS	1.98	0.02	0.18
45	Fondo de Valle de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Moderadamente Empinado Aluvial - Coluvial	FvAfIGMeA	1.87	0.02	0.17
46	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Moderadamente Empinado Aluvial - Coluvial	VeAfIDMeA	1.65	0.02	0.15
47	Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Ligeramente Inclinado Sedimentaria Areniscas	LIAfIGLIS	1.41	0.01	0.13
48	Cima de Colada de Lavas denudacional Empinado Volcanico Andesitas	CiClaDEV	1.35	0.01	0.12
49	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Fuertemente Inclinado Yesos y Lutitas	VeAfIDFIY	1.24	0.01	0.11
50	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentario arcillas limos	VeAfIDFIS	0.91	0.01	0.08
51	Vertiente Disectada de Colina Baja denudacional Moderadamente Empinado Coluvial	VdCbDMeC	0.78	0.01	0.07
52	Cima de Colina denudacional Allanada Sedimentario arcillas limos	CiCoDAS	0.53	0.01	0.05
53	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Empinado Aluvial - Coluvial	VeAfIDEA	0.44	0.00	0.04
54	Llanura de Altiplanicie Fluvioacustre agradacional Ligeramente Inclinado Coluvial	LIAfIGLIC	0.29	0.00	0.03
55	Vertiente de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Fuertemente Inclinado Coluvial	VeAfIDFIC	0.28	0.00	0.03
56	Terraza Alta de Colina Baja agradacional Fuertemente Inclinado Yesos y Lutitas	TaCbGFIIY	0.10	0.00	0.01
57	Carcava de Altiplanicie Fluvioacustre denudacional Fuertemente Inclinado Sedimentaria Areniscas	CaAfIDFIS	0.06	0.00	0.01
<b>Total</b>			<b>1078.55</b>	<b>10.79</b>	<b>100</b>

"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGÍCO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"

## PLANO GEOMORFOLÓGICO

<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras	<b>PGM 06</b>
<b>Escala Indicada</b>		
<b>Fecha: Marzo del 2023</b>		

### 3.8.11 Parámetros Geomorfológicos

Los parámetros geomorfológicos son una herramienta adecuada para el estudio y comprensión de la dinámica geomorfológica y su comportamiento hidrológico e hidrográfico para un ámbito de estudio en este caso una cuenca.

El ciclo hidrológico dentro de la cuenca estará sujeto a las características propias de la cuenca forma, relieve, drenaje y el comportamiento del recurso hídrico en esta, por ejemplo, el escurrimiento, tiempo de concentración, distribución, etc.

#### 3.8.11.1 Morfometría de la cuenca

##### 3.8.11.1.1 Elementos de superficie

#### **Parámetros geométricos**

#### **Área de la Cuenca (A)**

Es el área planar en proyección horizontal o superficie del terreno delimitado por la divisoria de aguas, la cuenca Paucarbamba ocupa una extensión de 10.79 km<sup>2</sup>

#### **Perímetro de la cuenca (P)**

Es el límite exterior o contorno de la cuenca, su longitud corresponde a la longitud de la divisoria de aguas, en la cuenca Paucarbamba tiene una longitud de 15.75 km.

#### **Longitud Axial (Lax)**

Está definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (punto de aforo) y otro punto aguas arriba.

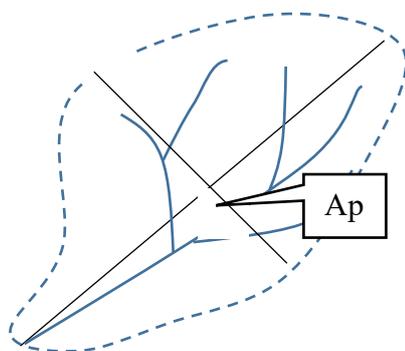
#### **Ancho medio (Ap)**

Se define como la relación entre el área de la cuenca y la longitud axial de la cuenca

$$Ap = \frac{Ac}{Lax}$$

**Figura 28**

*Cuenca y elementos de superficie.*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13**

*Elementos de superficie y distancia*

Área	Perímetro	Long. Axial	Ancho Prom.	Centro de Gravedad	
km <sup>2</sup>	km	km	km	Latitud	Longitud
10.79	15.75	5.28	2.17	13°18'41.19''	72°12'15.4''

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

### 3.8.11.2 Parámetros de Forma

Debido a la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar los parámetros por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento de agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento a continuación se describirá los principales parámetros:

Factor de forma

Expresa la relación, entre el ancho promedio de una cuenca y la longitud (Villon,2002, p.39)

$$Ff = \frac{Ap}{Lax}$$

Donde

Ap= Ancho promedio de la cuenca 2.17

Lax= Longitud Axial 5.28

#### Tabla 14

Valores de forma de Horton.

Factor de Forma	Tipo de forma
1.00	Cuadrado con salida central
0.79	Circular o redonda
0.50	Cuadrado con salida lateral
0.40 y 0.50	Oval
<0.30	Rectangular alargada

Nota. Fuente: Horton (1993).

Realizando los cálculos para la cuenca Paucarbamba, se obtuvo un índice de 0.39 lo que nos indica que tiene una forma Oval a rectangular alargada.

#### Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)

Se define como la influencia del perímetro y el área de la cuenca de estudio, se obtiene mediante la relación

De otra manera, este índice se basa en la comparación con una cuenca ideal de forma circular con sus cauces dispuestos radialmente y que desembocan en el punto central (López Cadenas de Llano, 1998)

$$Ic = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

A= Área de la cuenca                    10.79 km<sup>2</sup>

P= Perímetro de la cuenca            15.75 km

**Tabla 15**

*Valores de coeficiente de compacidad (Kc).*

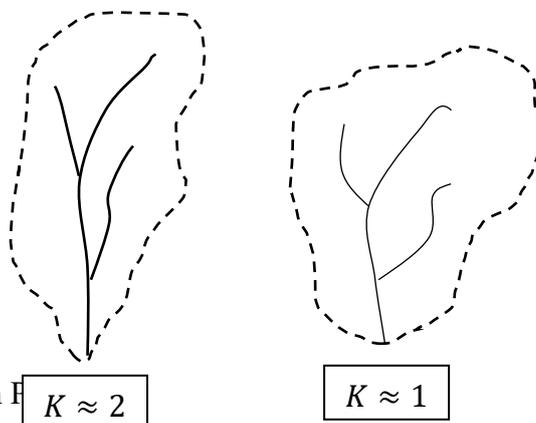
Rango	Forma	Tendencia a las crecidas
1.00-1.25	Redonda a oval redonda (compacta)	Alta
1.25-1.50	Oval redonda a oval oblonga	Alta a Media
1.50-1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Media
>1.75	Casi rectangular (alargada)	Baja

*Nota.* Fuente: (FAO,1985)

Cuando el índice Kc tiende al valor de 1, la cuenca tendrá una forma casi circular, esto significa que las crecientes tendrán mayor coincidencia debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca serán iguales. Realizando el análisis para la cuenca Paucarbamba se obtuvo el índice de 1.35 lo que indica una forma Oval redonda oblonga con una tendencia a las crecidas de alta a media.

**Figura 29**

*Comparación entre la forma de las cuencas.*



*Nota.* Fuente: Elaboración F

**Elongación (EI)**

$$El = 2 \frac{\sqrt{\frac{Ac}{\pi}}}{Lax}$$

Donde:

Ac = Área de la cuenca                    10.79 km<sup>2</sup>

Lax= Longitud Axial                        4.97 km

Realizando los cálculos el índice de elongación correspondiente a la cuenca Paucarbamba corresponde a 0.75.

### Índice de Circularidad Ic

$$Ic = \sqrt{\frac{4 * \pi * A}{P^2}}$$

Donde:

Ac = Área de la cuenca                    10.79 km<sup>2</sup>

P= Perímetro                                15.75 km

Realizando los cálculos el índice de Circularidad correspondiente a la cuenca Paucarbamba corresponde a 0.74.

### Rectángulo Equivalente

Es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca, con la forma de un rectángulo, que tiene el mismo área y perímetro. (Villon, 2002, p. 42), para desarrollar el rectángulo equivalente se procede a calcular el lado mayor y lado menor de la cuenca.

Donde:

Kc= Coeficiente de compacidad    1.35

Ac = Área de la cuenca                    10.79 km<sup>2</sup>

Lado mayor:

$$L = \frac{Kc * \sqrt{\pi * Ac}}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4}{\pi * Kc^2}}\right)$$

Reemplazando en la formula se obtuvo que el resultado del lado mayor tiene 6.11 km.

Lado menor

$$L = \frac{Kc * \sqrt{\pi * Ac}}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4}{\pi * Kc^2}}\right)$$

Se obtuvo 1.77 km como lado menor.

### 3.8.11.3 Parámetros de relieve

Los parámetros relativos al relieve nos muestran la variación de las inclinaciones de la superficie y puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma de la cuenca.

#### **Altura media**

La altura media corresponde a la elevación promedio referida al nivel del punto de aforo de la cuenca y el punto más alto. Está definida por la siguiente ecuación:

$$Hm = \left(\sum (ai * hi)\right) / Ac$$

Donde:

Ac = Área de la cuenca 10.79 km<sup>2</sup>

ai\*hi = Sumatoria entre áreas parciales y altitud media

ai\*hi = Sumatoria entre áreas parciales y altitud media

#### **Tabla 16**

*Altitud media de la cuenca.*

Cota msnm	Área Parcial (ai)	Altitud media (hi)	(ai*hi)
2887	0.017427	2843.5	49.553675
2900	0.350106	2893.5	1013.0317
3000	0.696297	2950	2054.0762
3100	0.68835	3050	2099.4675
3200	1.035583	3150	3262.0865
3300	0.823405	3250	2676.0663
3400	0.779168	3350	2610.2128
3500	1.236899	3450	4267.3016
3600	3.134639	3550	11127.968
3700	1.54924	3650	5654.726
3800	0.187922	3750	704.7075
3900	0.163068	3850	627.8118
4000	0.123762	3950	488.8599
$\Sigma$	<b>10.785866</b>		<b>36635.87</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

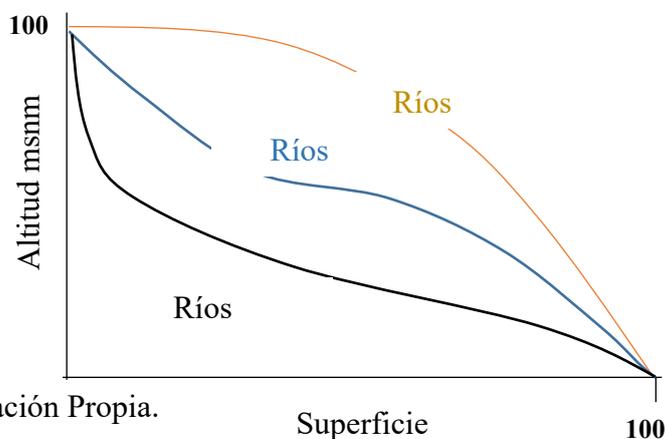
Reemplazando en la ecuación se obtuvo que la cuenca Paucarbamba tiene una altitud media (Hm) de 3396.33 msnm.

### Curva Hipsométrica

Es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% está situado por debajo de ella (Villon, 2002, p. 36-37).

### Figura 30

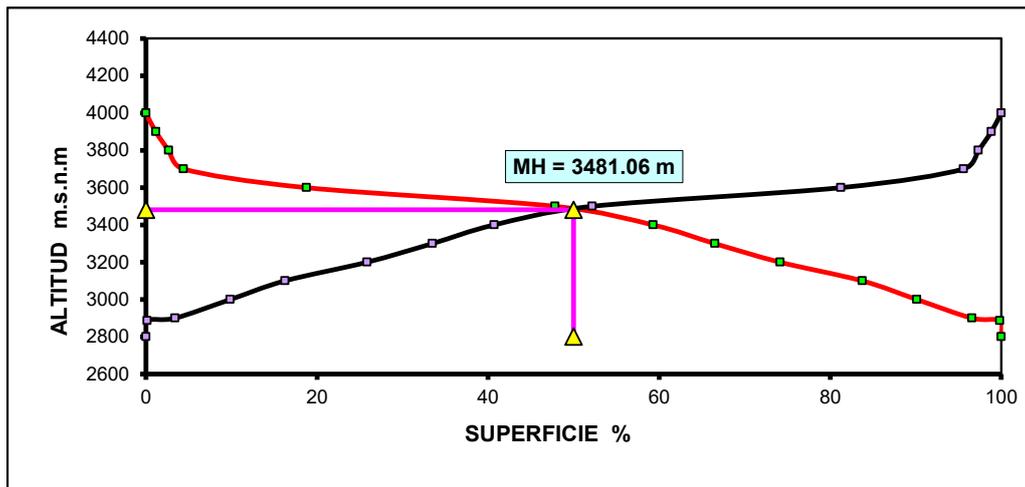
*Curvas Hipsométricas características.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### Figura 31

*Curva Hipsométrica de la cuenca Paucarbamba.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

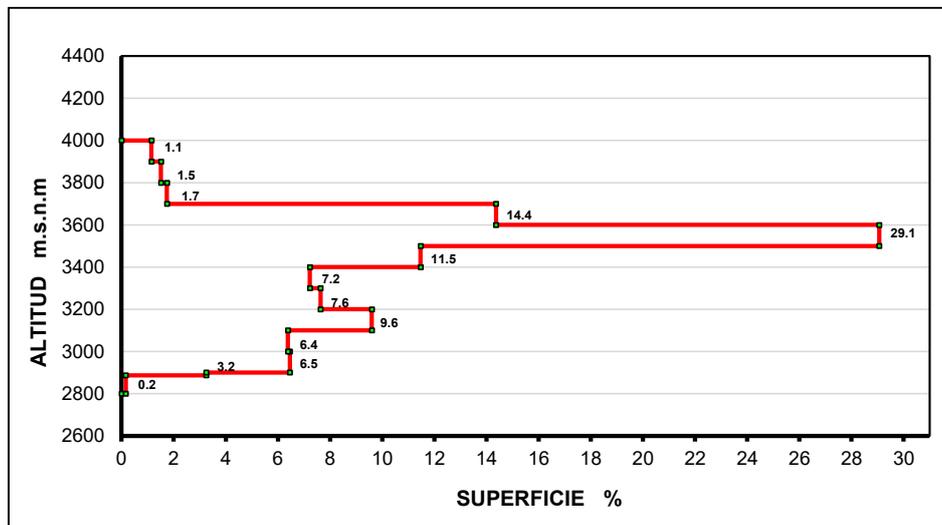
Realizando la interpretación de la curva hipsométrica de la cuenca Paucarbamba la que refleja una mediana de altitud de 3481.06 m., se puede inferir que la cuenca es joven, allanada hacia la parte baja y abrupta hacia la parte alta.

### **Histograma de frecuencias o altitudes**

Conocida como polígono de frecuencias altimétricas viene a constituir un diagrama o histograma invertido que nos indica la diferencia porcentual del área que ocupa diferentes altitudes. Esta gráfica se debe determinar alturas características de la subcuenca. (Villon, 2002, p. 37).

**Figura 32**

*Histograma de Frecuencias de la cuenca Paucarbamba.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

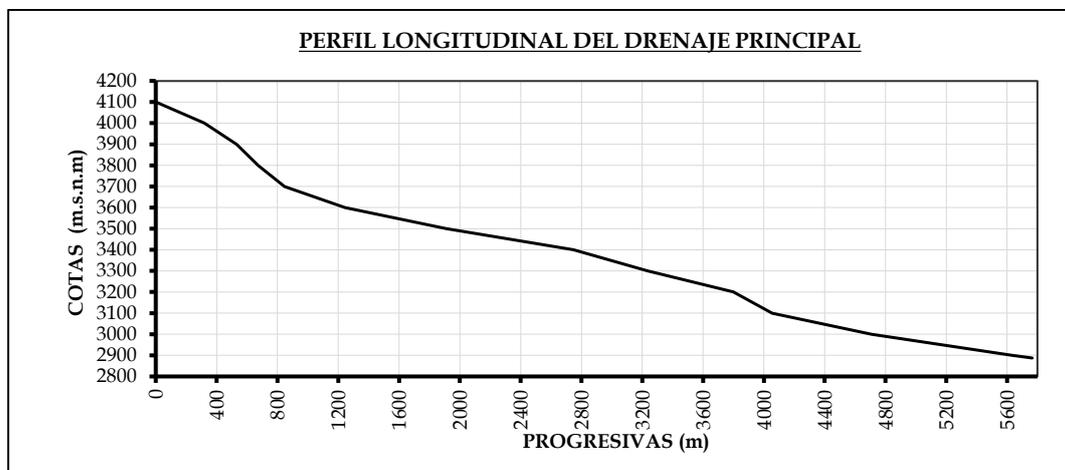
Según la interpretación del polígono de frecuencias el mayor porcentaje de área está entre las altitudes de 3500 y 3600 m.s.n.m.

**Perfil Longitudinal**

El cauce principal de la cuenca Paucarbamba está representado por el siguiente gráfico.

**Figura 33**

*Perfil longitudinal de la cuenca Paucarbamba.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

## Tiempo de Concentración

Corresponde al tiempo en que una gota de agua recorre la parte más alta de una cuenca hasta el punto de aforo. Se uso la metodología de diferentes autores para determinar el tiempo de concentración.

**Tabla 17**

*Tiempo de concentración.*

<b>Tiempo de Concentración en minutos</b>	
Clark	82.68
Keray	30.98
Chereque	20.21
Giandiotti	80.43
Hataway	38.30
Passini	19.81
Simon	19.71
Soil conservation	40.93
Synthetic unit hidrograph	24.31
Temez	36.27
Ventura - heras	25.21
Kirpich	49.22
Aparicio	48.01
<b>Tc Promedio</b>	<b>26.39</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### 3.9 MARCO GEOLOGICO

#### 3.9.1 GEOLOGÍA REGIONAL

En este capítulo se comenta y describen todas las unidades geológicas que se presentan en el área de la Cuenca Paucarbamba, siendo de las más antiguas en la zona, la Formación Huambutio y el Grupo Yuncaypata con sus respectivos miembros, además también se describen los recientes depósitos cuaternarios (aluviales, coluviales y fluviales).

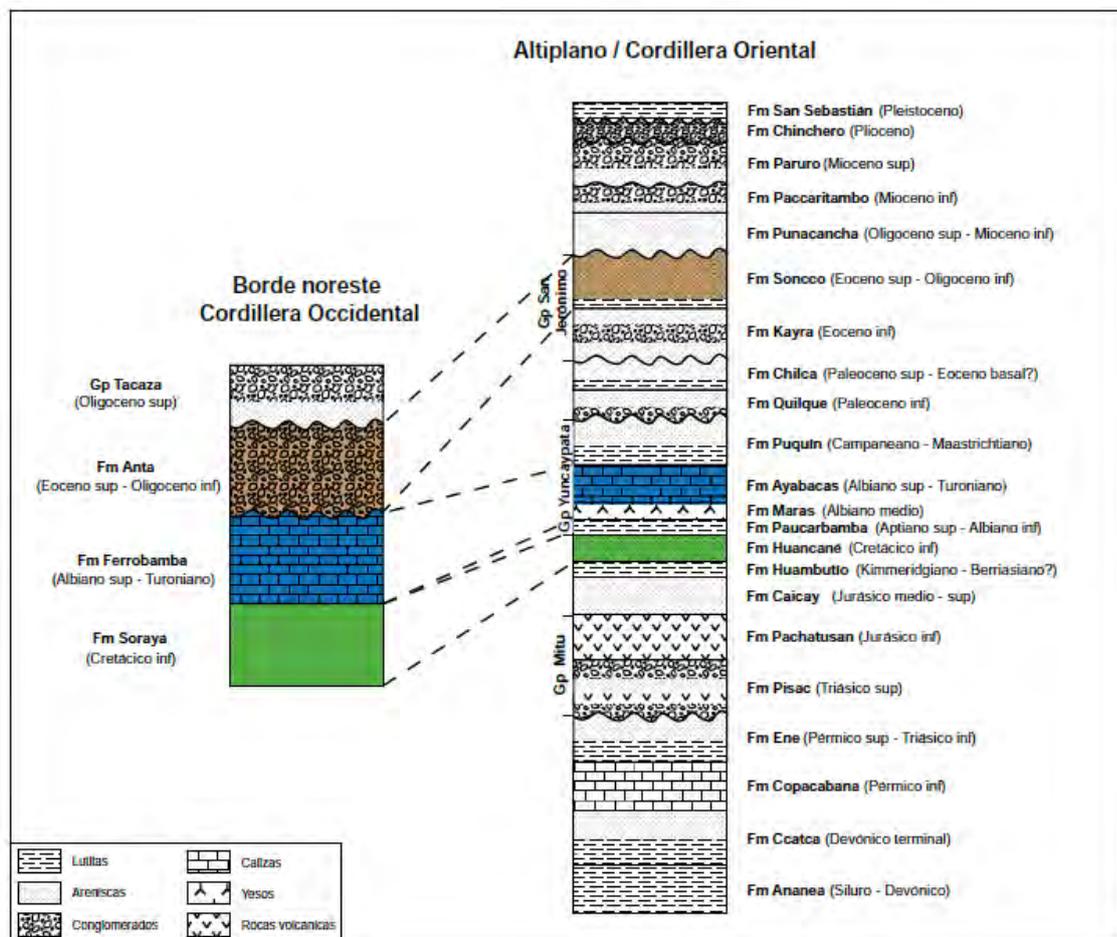


Figura 34 -

Fuente : (Carlotto et al, 2011)

### 3.9.1.1 MESOZOICO

#### 3.9.1.2 Grupo Yuncaypata: Albiana Maestrichtiano

Se ha dividido al Grupo Yuncaypata en 4 formaciones cartografiables a la escala 1:100,000: Formación Paucarbamba, Formación Maras, Formación Ayavacas y Formación Puquín

El grupo Yuncaypata agrupa varias formaciones, mencionamos que la única Formación presente en la cuenca Paucarbamba de este grupo es la formación Maras.

##### 3.9.1.2.1 Formación maras: Albiano medio

La Formación Maras se encuentra en concordancia con la formación Paucarbamba. No obstante, esta unidad nunca ha sido observada en su totalidad debido a la presencia de yesos, que actúan como un nivel de despegue. Estas secuencias afloran en diferentes áreas, como la Pampa de Maras Piuray, la zona de Cachijata al sur de Ollantaytambo y al norte de la zona Limatambo Zurite en el Cuadrángulo de Urubamba. También se presenta en la meseta de Saqsayhuamán al norte de Cusco y en la zona de Patabamba-Raranniyoc en el Cuadrángulo de Calca. En estos sectores, los afloramientos se presentan de forma caótica, mezclando yesos, lutitas y en menor proporción calizas, debido a deformaciones diapíricas. Para propósitos cartográficos, todos estos afloramientos caóticos de yesos y lutitas que aparecen dentro del Grupo Yuncaypata se han considerado como Formación Maras, incluyendo los yesos que han sido removidos por efectos tectónicos. Por esta razón, en el mapa geológico del Cuadrángulo de Urubamba, esta unidad aparece representada de manera irregular, cortando secuencias posteriores.

La Formación Maras está principalmente compuesta por yesos, intercalados con lutitas rojas y en menor medida lutitas verdes, así como algunos niveles de calizas de grosores delgados (entre 3 y 7 metros). Se piensa que las lutitas tienen un origen lacustre o marino poco profundo, los yesos se formaron en un ambiente de sabkha y las calizas indican máximos transgresivos (Carlotto, 1992). El grosor total de esta unidad es difícil de calcular, pero se estima que se encuentra entre 100 y 200 metros, aunque en algunos lugares puede llegar a superar los 400 metros debido a los efectos diapíricos y tectónicos. La edad media Albiana de la Formación Maras se asume en base a su posición estratigráfica y correlaciones, ya que se encuentra por debajo de las calizas de la Formación Ayavacas del Albiano superior-Turoniano. (Carlotto , Gil, Cardenas , & Chávez , 1996)

### 3.9.1.3 CENOZOICO

#### 3.9.1.4 Formación Quilque (Pp-qu): Paleoceno inferior

Definida por Gregory (1916) y Carlotto (1992), se trata de capas rojas que reposan en discordancia sobre la Formación Puquín.

Estas secuencias geológicas emergen en varias áreas: al sur de los nevados de Ocobamba y Moyoc, donde se encuentran por encima del Grupo Yuncaypata y por debajo del Grupo San Jerónimo. También afloran al este y noreste de la laguna de Piuray, donde conforman los flancos del Anticlinorio de Piuray y el núcleo de un sinclinal, ubicado en la base del Grupo San Jerónimo. Otro afloramiento de la Formación Quilque se encuentra al norte de la localidad de Yucaj (cerro Condortiana), en la quebrada San Juan y el cerro Sayhua, donde se adelgaza debido a una falla que afecta sus capas superiores. También se presenta al sur de la localidad de Koricancha, formando el núcleo de un sinclinal. En la localidad de Pucamarca, al norte de la laguna Koricocha, la Formación Quilque aflora extensamente, presentándose en los flancos y núcleos de pliegues con orientación este-oeste. Por último, se encuentra al este de Corao, en la base del Grupo San Jerónimo.

Esta formación geológica tiene un espesor de alrededor de 150 metros y está compuesta principalmente por estratos crecientes de lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados, estos últimos formados por la erosión de costras calcáreas. Los bancos de areniscas y conglomerados tienen una orientación canalizada y presentan laminaciones oblicuas curvas. La evolución vertical de la Formación Quilque indica una transición gradual desde facies pelíticas lacustres y de llanura de inundación a facies arenoso-conglomerádicas, caracterizando un sistema fluvial débilmente entrelazado que se origina en el suroeste. La presencia de carofitas de la especie *Nitellopsis supraplana* (Carlotto et al., 1992; Jaillard et al., 1994) sugiere una edad del Paleoceno inferior. La discordancia en la base de la Formación Quilque sobre la Formación Puquín revela la existencia de eventos tectónicos en el límite entre el Maestrichtiano y el Paleoceno. La Formación Quilque se correlaciona con la Formación Santa Lucía (Paleoceno) en Bolivia (Carlotto et al., 1996).

### 3.9.1.5 NEOGENO

#### 3.9.1.6 Formación Rumicolca (NpQ-ru): Plio-Cuaternario

Se denomina Formación Rumicolca (Mendivil & Dávila, 1994) a un conjunto de cuerpos volcánicos de dimensiones pequeñas que afloran a lo largo del límite entre la Cordillera Oriental y las Altiplanicies, en particular en la zona de estudio.

Los cuerpos volcánicos mencionados se pueden distinguir en las fotografías aéreas debido a su superficie rugosa, su forma que se asemeja a pequeños cuerpos y su prominencia en el relieve. Se han identificado varios cuerpos volcánicos, entre ellos los de Pisac, Koricocha, Huchuyqosqo, Huarocondo, al sureste de Ancahuasi, Moray, Maras, Huilque, Limatambo, Cerro Achaco, y otros. Estos cuerpos volcánicos se encuentran ubicados en una zona de fallas activas, situada en el límite entre la Cordillera Oriental y las Altiplanicies. El tipo de volcanismo presente se caracteriza por la presencia de coladas de lavas de dimensiones relativamente pequeñas (entre 0.5 y 5 km<sup>2</sup>) y conos de escorias poco frecuentes. Aunque estos cuerpos volcánicos han sido descritos como andesitas, su composición geoquímica los clasifica como shoshonitas, presentando similitudes litológicas entre los distintos afloramientos. Se ha estimado que estas rocas tienen una edad Plio-Cuaternaria, basándose en criterios estratigráficos y dataciones radiométricas (Carlotto et al., 1996).

### 3.9.1.7 CUATERNARIO

#### 3.9.1.8 Formación San Sebastián: Pleistoceno Inferior (Q-Sa)

La Formación San Sebastián fue originalmente definida por Gregory (1916) en la Depresión de Cusco. En el Cuadrángulo de Urubamba, también se ha identificado esta formación en la Pampa de Piuray-Maras, y se encuentra presente en la Depresión de Anta. Estas áreas muestran una topografía bastante plana, generalmente sobreyaciendo a la Formación Chincheros.

La Formación San Sebastián se caracteriza por presentar dos secuencias distintas, según Cabrera (1988). La primera secuencia, de grano decreciente, está compuesta por capas de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos, así como por lutitas lacustres o palustres. En la parte superior de esta secuencia se observan niveles diatomíticos y calcáreos. La segunda secuencia, de grano creciente, está formada por conglomerados y areniscas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, lo que indica el cierre de la cuenca. Este cierre se evidencia por la presencia de estructuras compresivas sinsedimentarias (Cabrera, 1988).

A unos 2 km al norte de la localidad de Anta, Ramírez (1958) encontró dientes y fémures de las familias Equido y Megaherido, mientras que Cabrera (1988) descubrió la columna vertebral de un perezoso gigante y el maxilar de un equino. Los fósiles hallados en la cuenca Cusco, junto con los mencionados anteriormente, sugieren que la Formación San Sebastián tiene una edad Pleistocena inferior (Carlotto et al., 1996).

#### 3.9.1.9 Depósitos fluviales (Q-fl)

Estos depósitos han sido reconocidos en el fondo de los valles particularmente del Vilcanota-Urubamba, de los ríos Lucumayo, Ocobamba y Lares (Cuadrángulo de Urubamba) y los ríos Paucartambo y Yanatili. (Cuadrángulo de Calca), los que están constituidos por bancos de gravas y arenas, formando una o varias terrazas.

En el mapa geológico, no se han considerado muchos de los depósitos fluviales pequeños, debido a razones de escala.

#### 3.9.1.10 Depósitos aluviales (Q-al)

Hemos considerado en este estudio tanto los conos aluviales como los conos de deyección presentes en estos depósitos. Estos conos se encuentran principalmente en las desembocaduras de las quebradas cercanas al valle del río Vilcanota-Urubamba, como los ríos Lucumayo, Ocobamba y Lares (Cuadrángulo de Urubamba), así como los ríos Paucartambo, Yanatili y Kosñipata (Cuadrángulo de Calca). Estos conos se forman debido a cambios bruscos en la pendiente. Dentro de los conos, destacan las quebradas de Pumahuanca, Chicón, Yanahuara, Calca y Hualancay. Estas quebradas están compuestas por grandes bloques de granitos, cuarcitas, rocas volcánicas, entre otras, que están envueltos por una matriz de materiales areno-arcillosos (Carlotto et al., 1996).

#### 3.9.1.11 Depósitos coluviales (Q-co)

Se han realizado la cartografía de los deslizamientos más relevantes en el cuadrángulo, destacando aquel del cerro Yahuarmaqui en Urubamba, el deslizamiento de Huarocondo en la zona de Yanahuara, el deslizamiento de Pisac y los deslizamientos en el valle del río Paucartambo. El deslizamiento del cerro Yahuarmaqui, ocurrido en 1678, ha quedado registrado en relatos históricos debido a que resultó en la obstrucción del río Urubamba, causando la destrucción de varias poblaciones y la pérdida de vidas humanas.

### 3.9.2 GEOLOGÍA LOCAL

Una vez ubicados idóneamente, considerando la zona de trabajo, el cuadrángulo de Urubamba y Calca Hoja 27-r y 27-s, delimitada la Cuenca, considerando su área, los accesos óptimos y los fines que tiene la presente tesis, se plantearon salidas de campo con el objeto de confeccionar y así se hizo de forma adecuada y detallada la geología, siguiendo los procedimientos del INGEMMET, es por ello que se identificaron en la Cuenca Paucarbamba ocho unidades que van desde Mesozoico hasta el Cuaternario; sin más preámbulo se describen en seguida:

#### 3.9.2.1 MESOZOICO

#### 3.9.2.2 Grupo. Yuncaypata (Albiano-Maestrichtiano)

Esta Unidad está constituida por la formación Maras que es la única de este grupo que aflora en la cuenca Paucarbamba.

#### 3.9.2.3 Fm. Maras

Esta unidad aflora en la parte Este de la cuenca, litológicamente es comprendida de bloques de yesos, intercalados con lutitas y bloques de calizas dispuestos caóticamente.

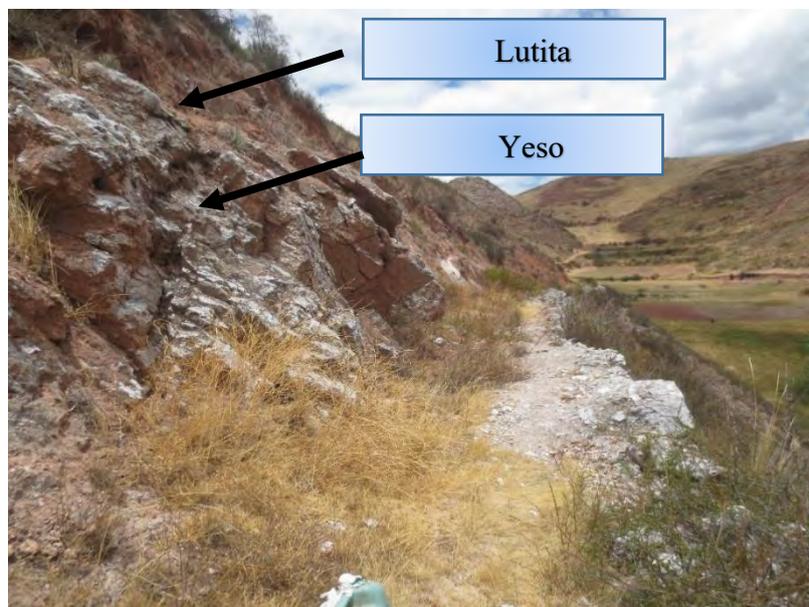
Esta unidad es característica por lo caótica de la litología, en la cuenca Paucarbamba no queda exenta de tal característica, se aprecia lutitas, bloques de Yeso y Bloques de Caliza karstificadas de diámetros de 3 a 4 metros.

**Figura 35**

*Bloque de yeso de la formación de Maras*

**Figura 36**

*Se evidencia la formación Maras en la ladera intercalados caóticamente con lutitas marrones*



*Nota:* la fotografía está orientada al SW, tomada desde la parte media de la cuenca Paucarbamba

Las lutitas serían de origen lacustre o marino poco profundo, los yesos de sabkha y las calizas indicarían máximos transgresivos.

La edad Albiana media de la formación Maras es asumida, en base a su posición estratigráfica y por correlaciones hechas; ya que infrayace a las calizas de la formación Ayavacas de edad Albiano superior-Turoniano.

**Tabla 18**

*Descripción de Muestra 01 Formación Maras*

Color	Blanco Beige
Dimensiones	15 cm x 10 cm
Tipo de Roca	Evaporítica
Mineralogía	Sulfato de Calcio
Composición Química	SO <sub>4</sub> Ca 2H <sub>2</sub> O

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia

*Figura 37-*

*Muestra Yeso Formación Maras*



#### 3.9.2.4 PALEOGENO

##### 3.9.2.5 Fm. Quilque ( Paleoceno Inferior)

Ésta unidad en la Cuenca es característica por una sedimentación grano estrato creciente, comprende lutitas arenisca de grano fino, medio y medio a grueso, y por conglomerados en menor proporción.

En las areniscas se apreció laminaciones oblicuas producto de un ambiente sedimentario fluvial, la morfología es de pequeños canales de deposición. Con Orientación al SW.

**Figura 38**

*Formación Quilque lado izquierdo y Formación Maras lado derecho*



*Nota:* Fotografía en el eje de la quebrada con vista al Norte, se observa las litologías características y cambios de color textura notable entre la formación Maras y la formación Quilque. El eje de la Quebrada está compuesto por aportes de ambas formaciones, así es como se originaron los depósitos cuaternarios coluvio aluviales

**Figura 39***Diaclasas en la formación Quilque*

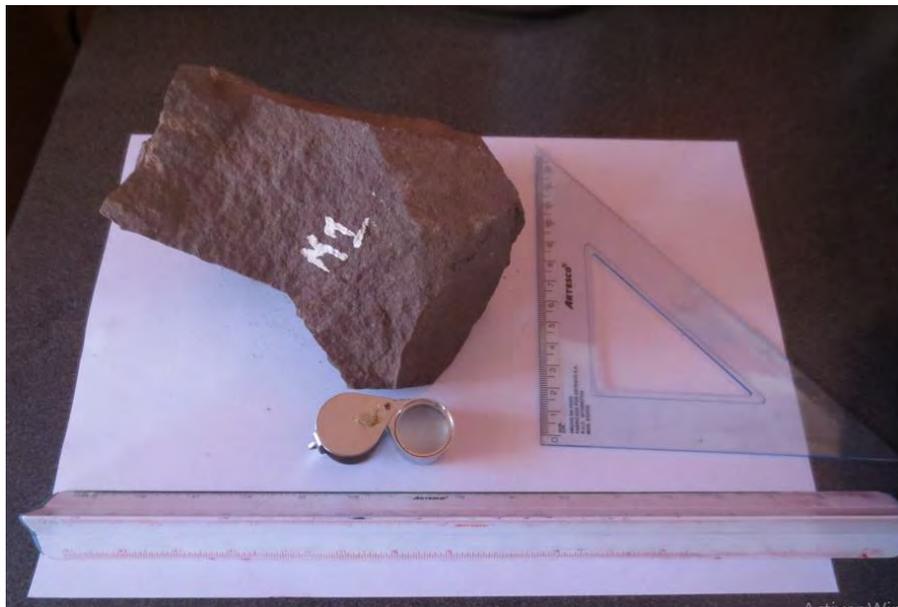
Nota: Se observa en la fotografía lutitas fracturadas de la formación Quilque con laminaciones, estructura característica en un medio de sedimentación fluvial. Las fracturas familia principal más dominante son la So, la estratificación laminar que caracteriza a la formación Quilque. Las tablas 19,20 y 21 describen muestras de mano de la formación Quilque.

**Tabla 19***Descripción macroscópica de muestra 01 formación Quilque*

Roca Arenisca	
Matriz	Arena fina Limos y Arcillas
Redondez	Sub Anguloso a Anguloso
Esfericidad	Sub Prismático
Selección	Bien seleccionado
Sorting	0.5
Empaquetamiento	Tangente a Puntual
% Matriz-Clastos	45-55
Color	Marrón Gris
Madurez	Submaduro
Tipo de Roca	Sedimentaria

**Figura 40**

*Muestra de mano M-1 de la formación Quilque coordenadas E N*

**Tabla 20**

*Descripción macroscópica de muestra 02 formación Quilque*

Roca Arenisca	
Matriz	Arena fina Limos y Arcillas
Redondez	Sub Anguloso a Anguloso
Esfericidad	Sub Discoidal
Selección	Moderadamente seleccionado
Sorting	1
Empaquetamiento	Puntual a Tangente
% Matriz-Clastos	50-50
Color	Gris
Madurez	Submaduro
Tipo de Roca	Sedimentaria

**Figura 41**

*Muestra de mano M-2 de la formación Quilque coordenadas E N*

**Tabla 21**

*Descripción macroscópica de Muestra 03 formación Quilque*

Roca Arenisca	
Matriz	Arena fina Limos y Arcillas
Redondez	Sub Redondeado a Sub Anguloso
Esfericidad	Sub Discoidal
Selección	Bien seleccionado
Sorting	0.5
Empaquetamiento	Tangente a Puntual
% Matriz-Clastos	45-55
Color	Marrón Gris
Madurez	Submaduro
Tipo de Roca	Sedimentaria

**Figura 42**

*Muestra de mano M-3 de la formación Quilque coordenadas E N*

**Figura 43**

*Estructura de canales se observa un paleocanal de sedimentación*



*Nota:* Se evidencia en la fotografía estructura de canales, típico en un medio de sedimentación fluvial, se ven clastos erosionados de areniscas y clastos blandos e incorporados en el canal de tipo sedimentario (areniscas)

**Figura 44**

*Levantamiento de columna estratigráfica en formación Quilque*



Nota: Medida de espesor de estratos después de encontrar la polaridad de la sedimentación de la Formación QUILQUE.

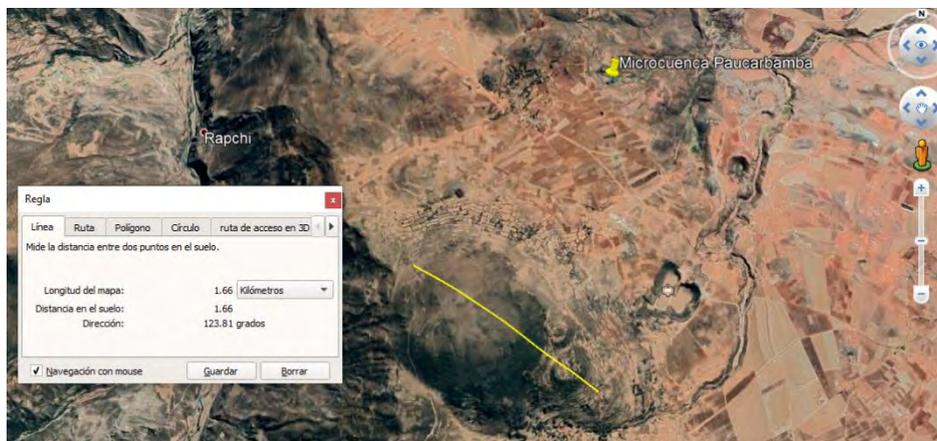
### 3.9.2.6 NEOGENO

### 3.9.2.7 Fm. Rumicolca (Plio-Cuaternario)

Esta formación del Cuaternario está presente en la Cuenca, caracterizado por una morfología correspondiente a un Roca Ignea Volcánica, la roca es una Andesita aproximadamente de 1.66 km de longitud axial y de superficie 2.64 km<sup>2</sup>

**Figura 45**

*Imagen satelital de la Ubicación de volcánico Rumicolca*



Nota: Roca Volcánica andesítica originada por un lineamiento regional de fallas.

### 3.9.2.8 CUATERNARIO

#### 3.9.2.9 Fm. San Sebastián ( Plesistoceno Inferior)

La Formación San Sebastián está presente con una superficie plana sobreyaciendo a la Formación Quilque. Litológicamente compuesta por lutitas lacustres o palustres y en la parte superior los niveles de diatomíticos y calcáreos son muy característicos de esta Formación.

#### Figura 46

*Diatomeas en formación San Sebastián*



Nota: se ve en la foto niveles de diatomea característico en la formación San Sebastián superior.

Sobre ésta formación la población hace uso de suelos con fin agrícola como se puede apreciar en la siguiente fotografía áreas de parcelación para desarrollos de su actividad productiva.

**Figura 47**

*Uso de suelos sobre Formación San Sebastián*



Nota: Fotografía con vista al SE, en los depósitos cuaternarios de la formación San Sebastián son utilizados como tierra para cultivo

**Figura 48**

*Vista al NW del uso de suelos en parte Media Alta de Cuenca*



Nota: Fotografía tomada con vista al NW, se observan suelos para cultivo, suelos residuales de la Formación San Sebastián.

**Figura 49***Formación San Sebastián*

Nota: Litología típica de la formación San Sebastián en corte antrópico, se observa limos y arcillas intercaladas

### 3.9.2.10 Depósitos Coluvio Aluviales

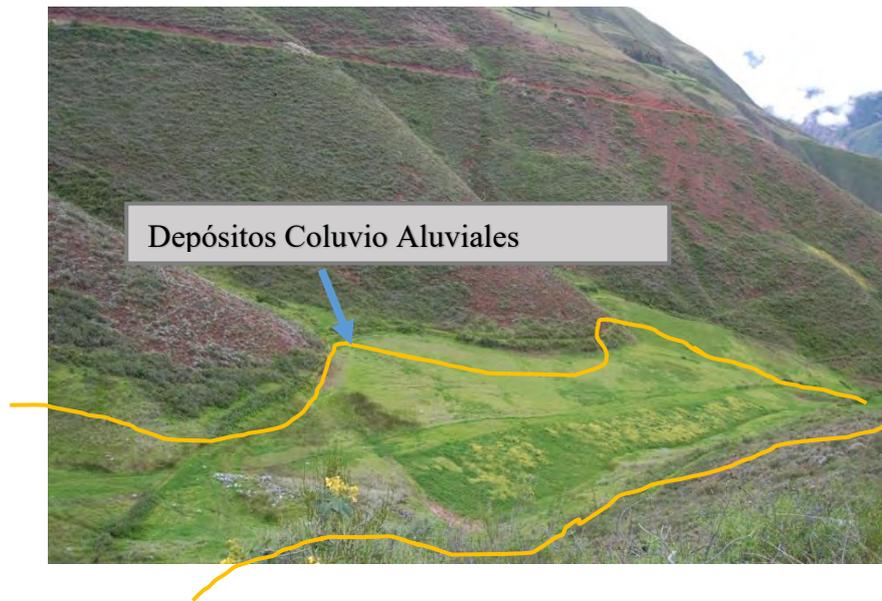
Concerniente a estos depósitos, consideramos los conos aluviales ubicados en la quebrada principal de la cuenca Paucarbamba; producto de un cambio de pendiente y la erosión presente formaron estos depósitos, los que están conformados por arenas, reducida cantidad de gravas, éstos, envueltos por una matriz fina de limos y arcillas.

**Figura 50***Material Coluvio Aluvial parte Media Alta de Cuenca*

Nota: En la fotografía con mira a Sur desde el eje principal de la cuenca se aprecia los depósitos coluvio aluviales que tuvieron aporte sedimentario por agentes externos de la Formación Quilque.

### Figura 51

#### *Depósitos coluvio-aluviales*



Nota: Se observa con mira al NW los depósitos aluviales entre las formaciones de Quilque y Maras, es el eje de la quebrada que tiene incidencia sedimentaria por las dos formaciones ya mencionadas.

#### 3.9.2.11 Depósitos Coluviales

Con referencia a estos depósitos en la cuenca Paucarbamba se encuentran en la parte media-alta, suelos en las laderas producto de una erosión en las rocas y producto de deslizamientos en la zona, se puede apreciar que estas áreas son considerables en la parte Oeste de la Cuenca, cabe resaltar que estos depósitos se encuentran en deslizamientos antiguos y nuevos en la zona de estudio.

Mencionamos que se destaca una gran cantidad de deslizamientos a lo largo de las laderas de la cuenca Paucarbamba.

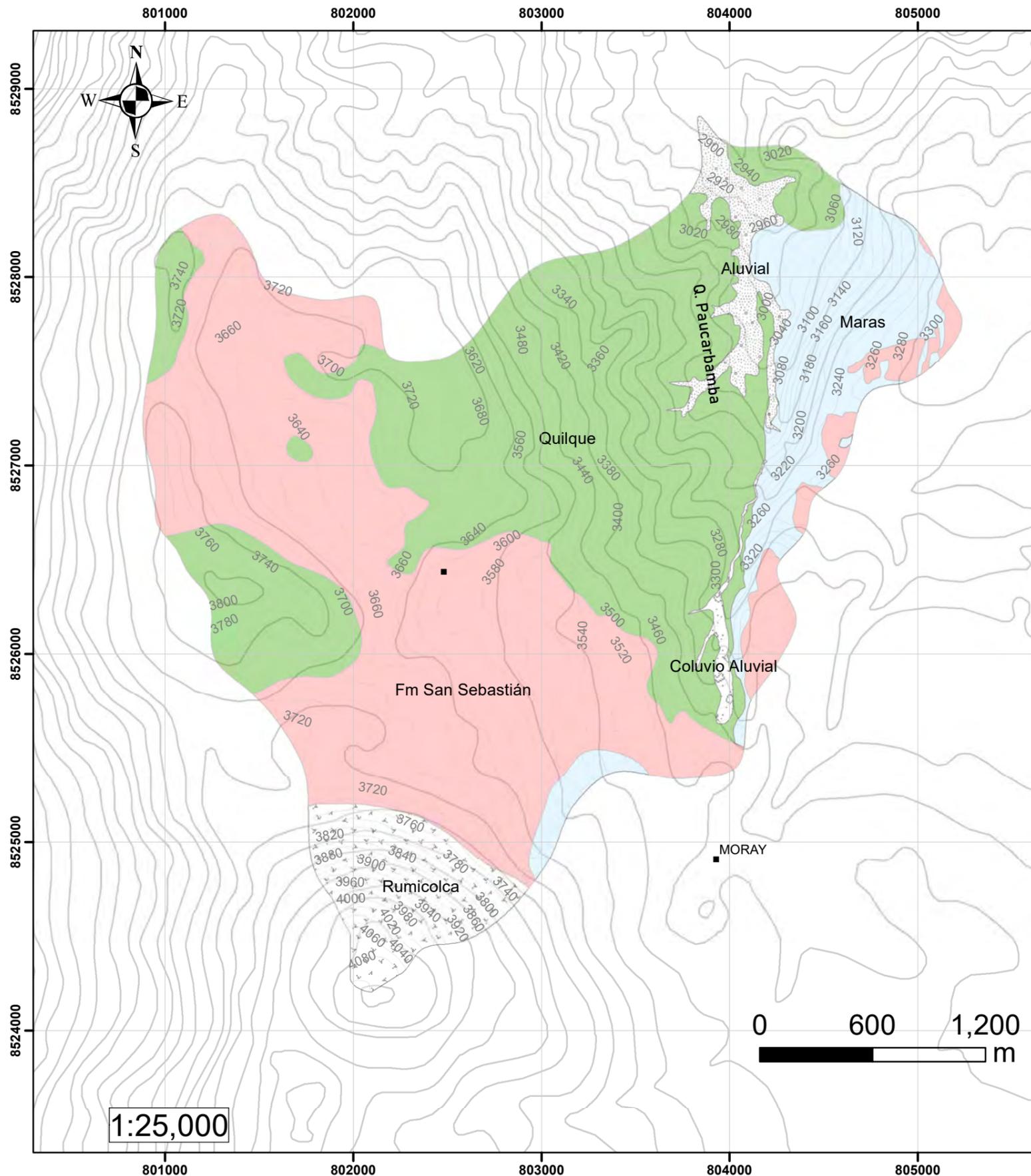
**Figura 52**

*Depósito coluvial*



*Nota:* Depósito coluvial en ladera, se observa un deslizamiento en este tipo de depósito, el escarpe principal y la cabecera de la corona, vista con dirección al NW

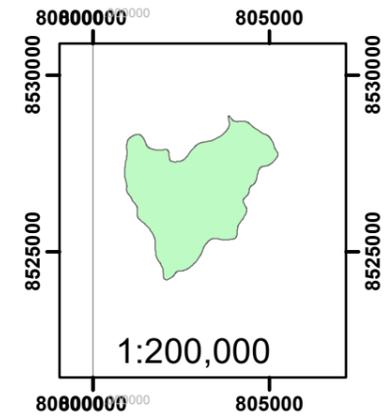
# MAPA GEOLÓGICO



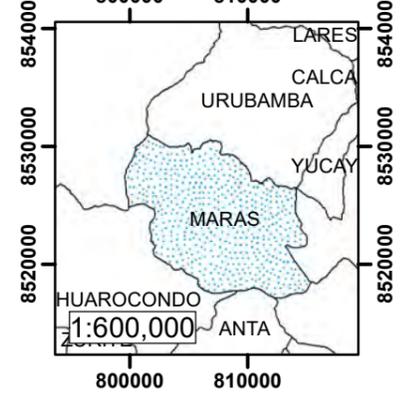
1:25,000

		LEYENDA			UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		
EON	ERATEMA	SISTEMA	SERIE	Grupo	Formación	Código	Descripción
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Q	Aluvial	Q-al	Bloques de areniscas, yesos envueltos en matriz areno-arcillosa
			Pleistoceno		San Sebastian	Q-sa	Arcillas, diatomitas calcareas y suelos limo arcillosos
					Rumicolca	Q-ru	Andesitas de color gris oscuro, matriz afanítica y predominancia de biotitas
Mesozoico	Cretácico	Inferior	Yuncaypata		Fm Quilque	Peo-sj	Lutitas Arenisca grano fino, medio y grueso con Conglomerados
					Maras	Ki-ma	Conformado por yesos caóticos, lutitas verdes, se evidencia la presencia de carcavas, derrumbes y deslizamientos

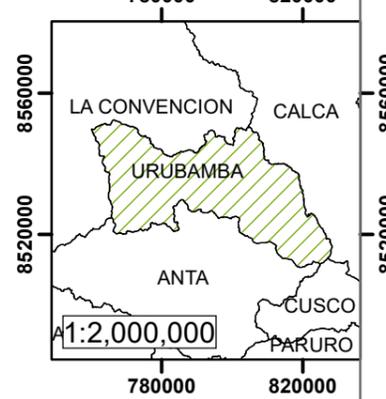
## LÍMITE DEPARTAMENTAL



## LÍMITE DISTRITAL



## LÍMITE PROVINCIAL

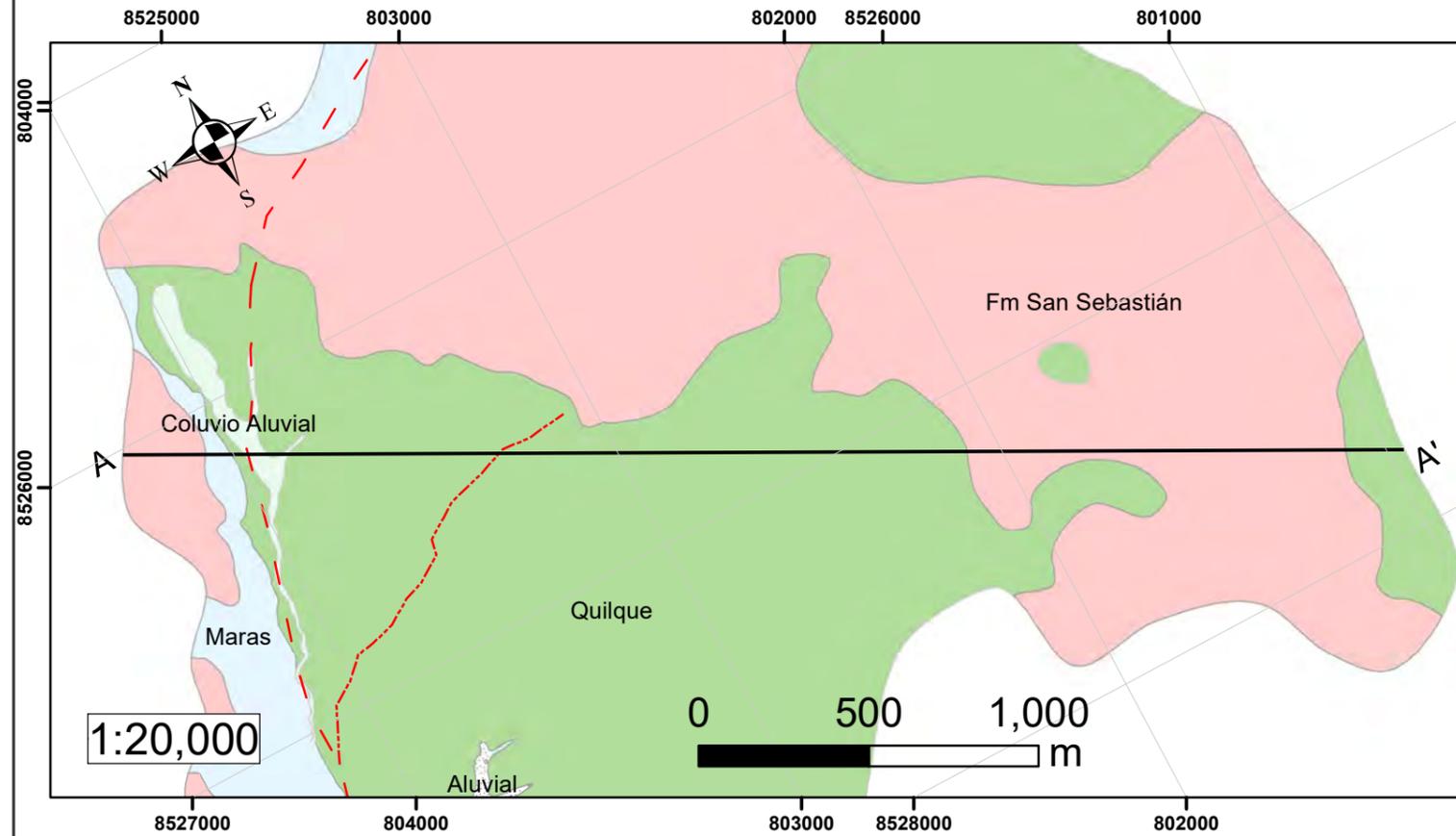


"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFISICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"

**PLANO GEOLÓGICO**

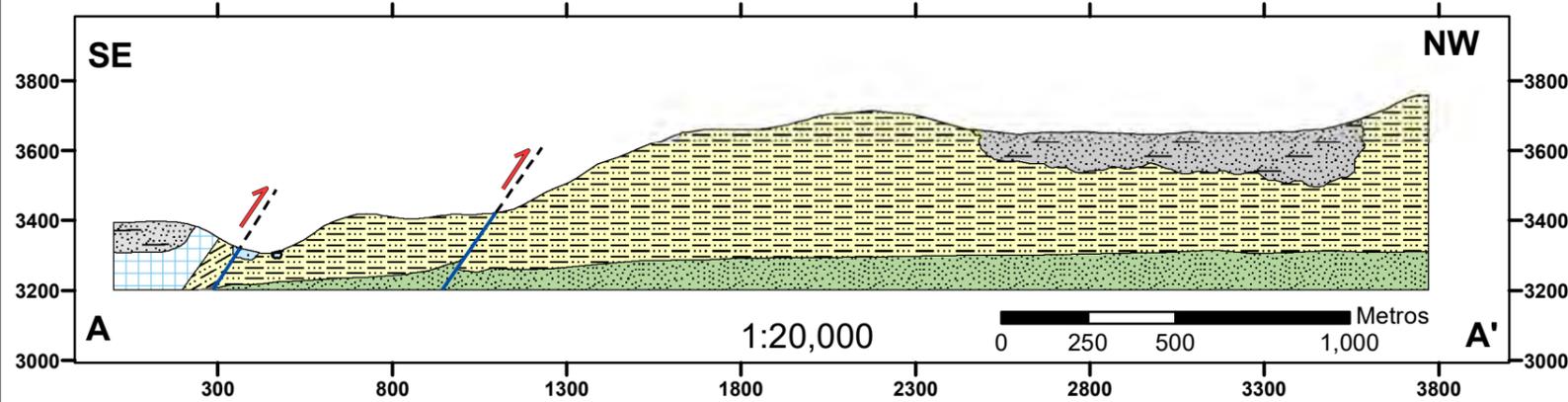
Elaborado por: Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	Ubicación: Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras		<b>P-GE-1</b>
Escala Indicada		Fecha: Marzo del 2023	

# MAPA CORTE GEOLÓGICO



		LEYENDA				
EON	ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		
				Grupo	Formación	Código
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Aluvial	Q-al	Bloques de areniscas, yesos envueltos en matriz areno-arcillosa
			Pleistoceno	San Sebastian	Q-sa	Arcillas, diatomitas calcareas y suelos limo arcillosos
				Rumicolca	Q-ru	Andesitas de color gris oscuro, matriz afanítica y predominancia de biotitas
		Paleogeno	Oligoceno Eoceno	Fm Quilque	Peo-sj	Areniscas finas grises con matriz calcarea y lutitas rojas intercaladas, medianamente fracturadas
Mesozoico	Cretácico			Inferior	Yuncaypata	Maras

## CORTE GEOLOGICO A-A'



Leyenda Corte Geológico			
	Q-co-al		Pp-qu
	Q-sa		Ki-ma
	Ks-pu		

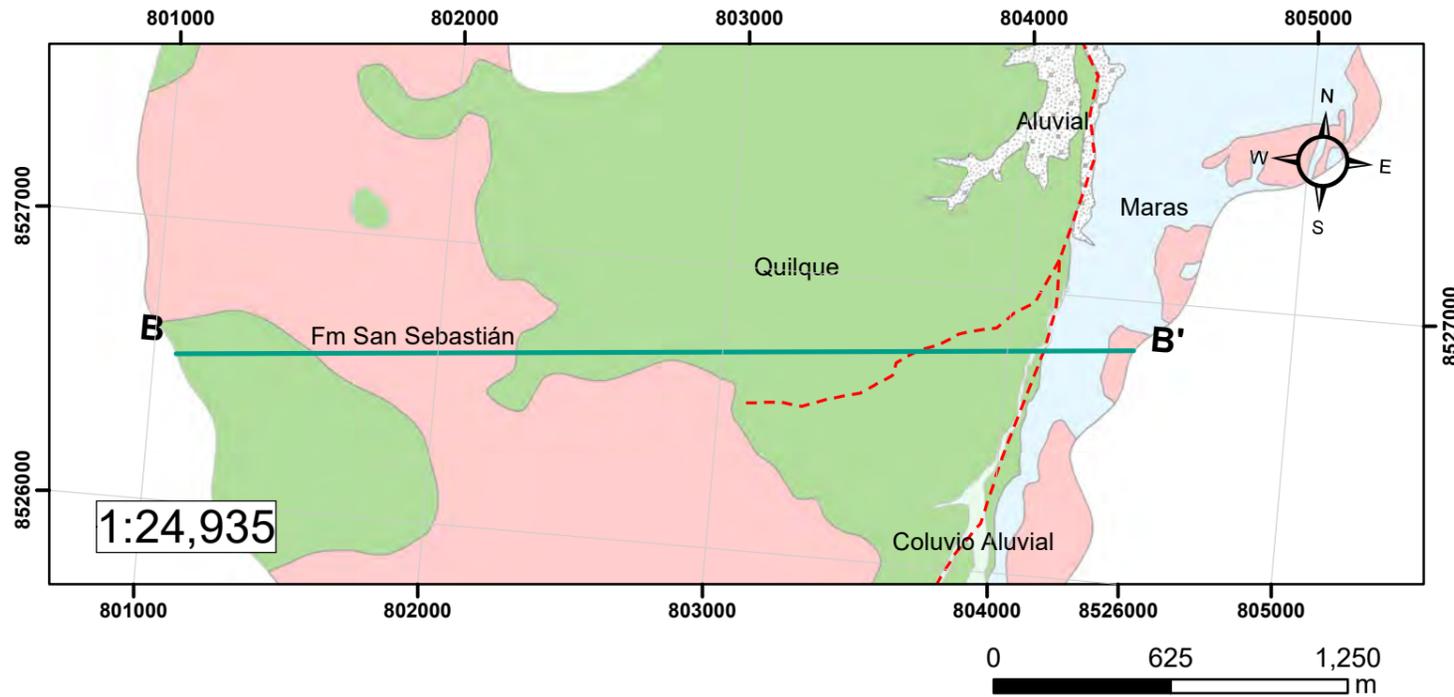
Simbología	
	Falla Inferida
	Dirección Inferida de Falla

"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"

### PLANO CORTE GEOLOGICO

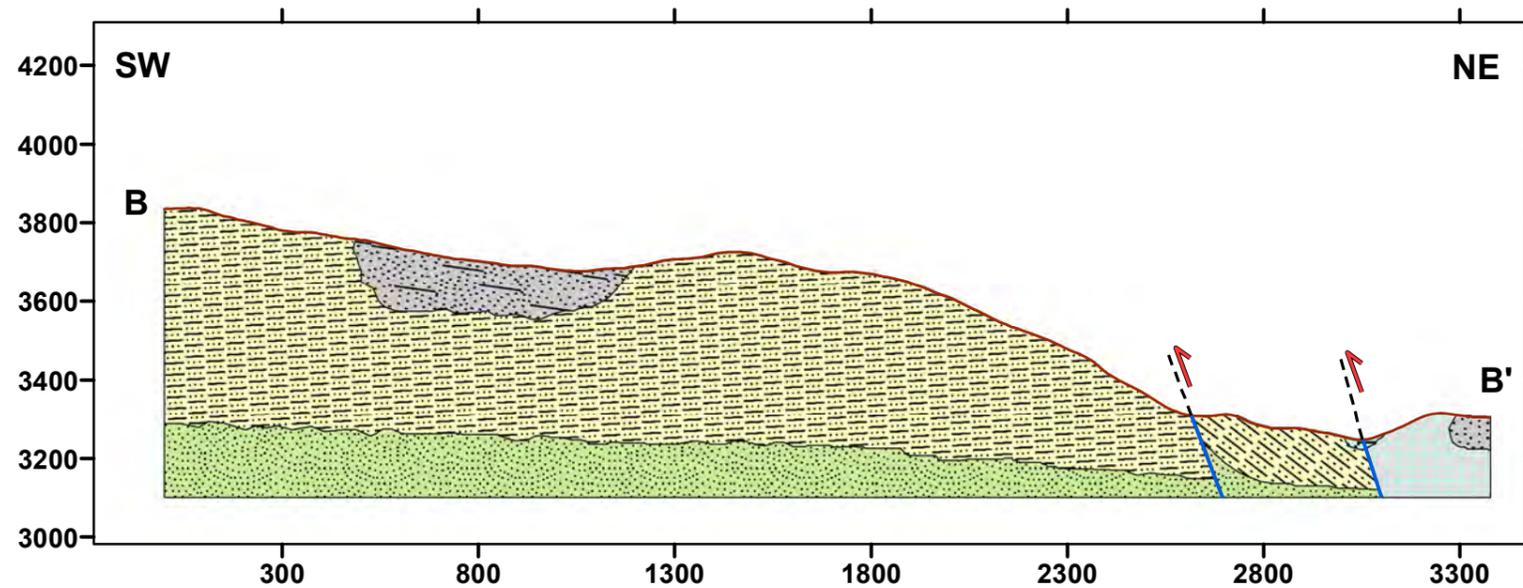
<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras		<b>P-GE-2</b>
Escala Indicada		Fecha: Marzo del 2023	

# MAPA CORTE GEOLÓGICO



LEYENDA						
UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS						
EON	SISTEMA	SERIE	Grupo			
Formación	Código	Descripción				
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Aluvial	Q-al	Bloques de areniscas, yesos envueltos en matriz areno-arcillosa
			Pleistoceno	San Sebastian	Q-sa	Arcillas, diatomitas calcareas y suelos limo arcillosos
		Paleogeno	Oligoceno	Rumicolca	Q-ru	Andesitas de color gris oscuro, matriz afanítica y predominancia de biotitas
Eoceno	Fm Quilque		Peo-sj	Areniscas finas grises con matriz calcarea y lutitas rojas intercaladas, medianamente fracturadas		
Mesozoico	Cretácico	Inferior	Yuncaypata	Maras	Ki-ma	Conformado por yesos caóticos, lutitas verdes, se evidencia la presencia de carcavas, derrumbes y deslizamientos

## CORTE GEOLOGICO B-B'



0 0.275 0.55 1.1 Kilometers

### Simbología

- Falla Inferida
- Dirección Inferida de Falla

### Leyenda Corte Geológico

- Q-co-al Pp-qu
- Q-sa Ki-ma
- Ks-pu

"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"

#### PLANO CORTE GEOLOGICO

##### Elaborado por:

Bach. Cristian Valencia  
Bach. Guido Almanza

##### Ubicación:

Departamento : Cusco  
Provincia : Urubamba  
Distrito : Maras

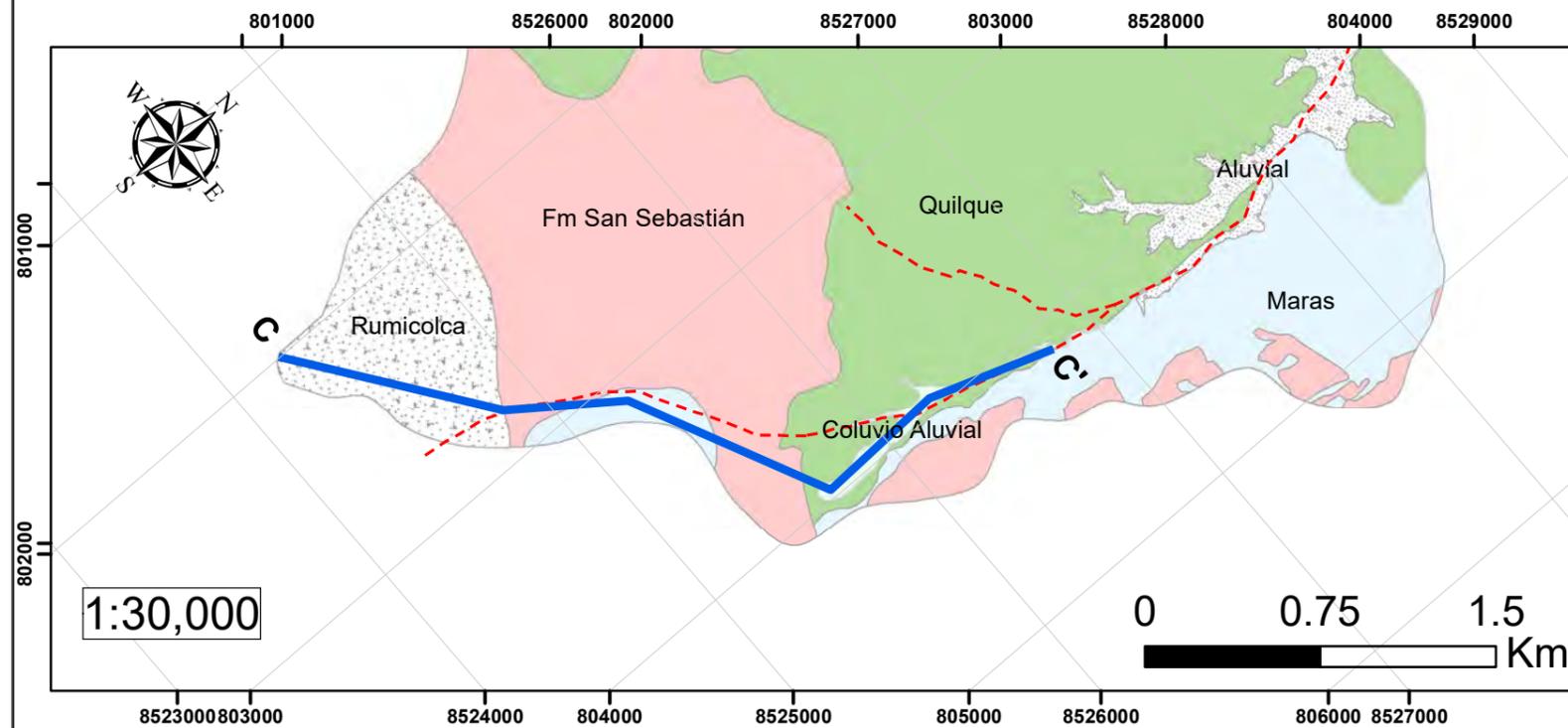


**P-GE-3**

Escala Indicada

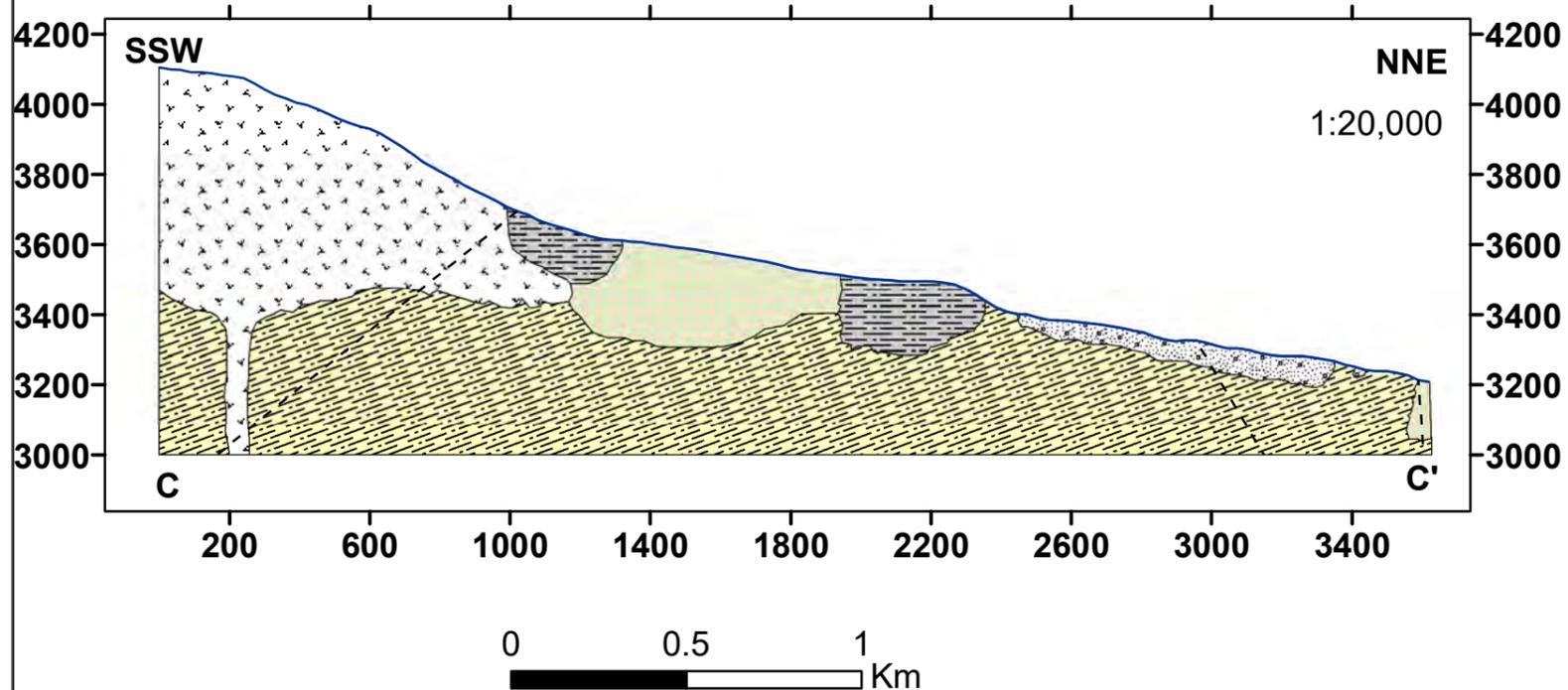
Fecha: Marzo del 2023

# MAPA CORTE GEOLÓGICO 03



EON		ERATEMA		SISTEMA		SERIE		UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		
								Formación	Código	Descripción
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Aluvial	Q-al	Bloques de areniscas, yesos envueltos en matriz areno-arcillosa				
			Pleistoceno	San Sebastian	Q-sa	Arcillas, diatomitas calcareas y suelos limo arcillosos				
Mesozoico	Paleogeno	Eoceno	Oligoceno	Rumicolca	Q-ru	Andesitas de color gris oscuro, matriz afanítica y predominancia de biotitas				
				Fm Quilque	Peo-sj	Areniscas finas grises con matriz calcarea y lutitas rojas intercaladas, medianamente fracturadas				
				Maras	Ki-ma	Conformado por yesos caoticos, lutitas verdes, se evidencia la presencia de carcavas, derrumbes y deslizamientos				
				Yuncaypata						

## CORTE GEOLÓGICO C-C'



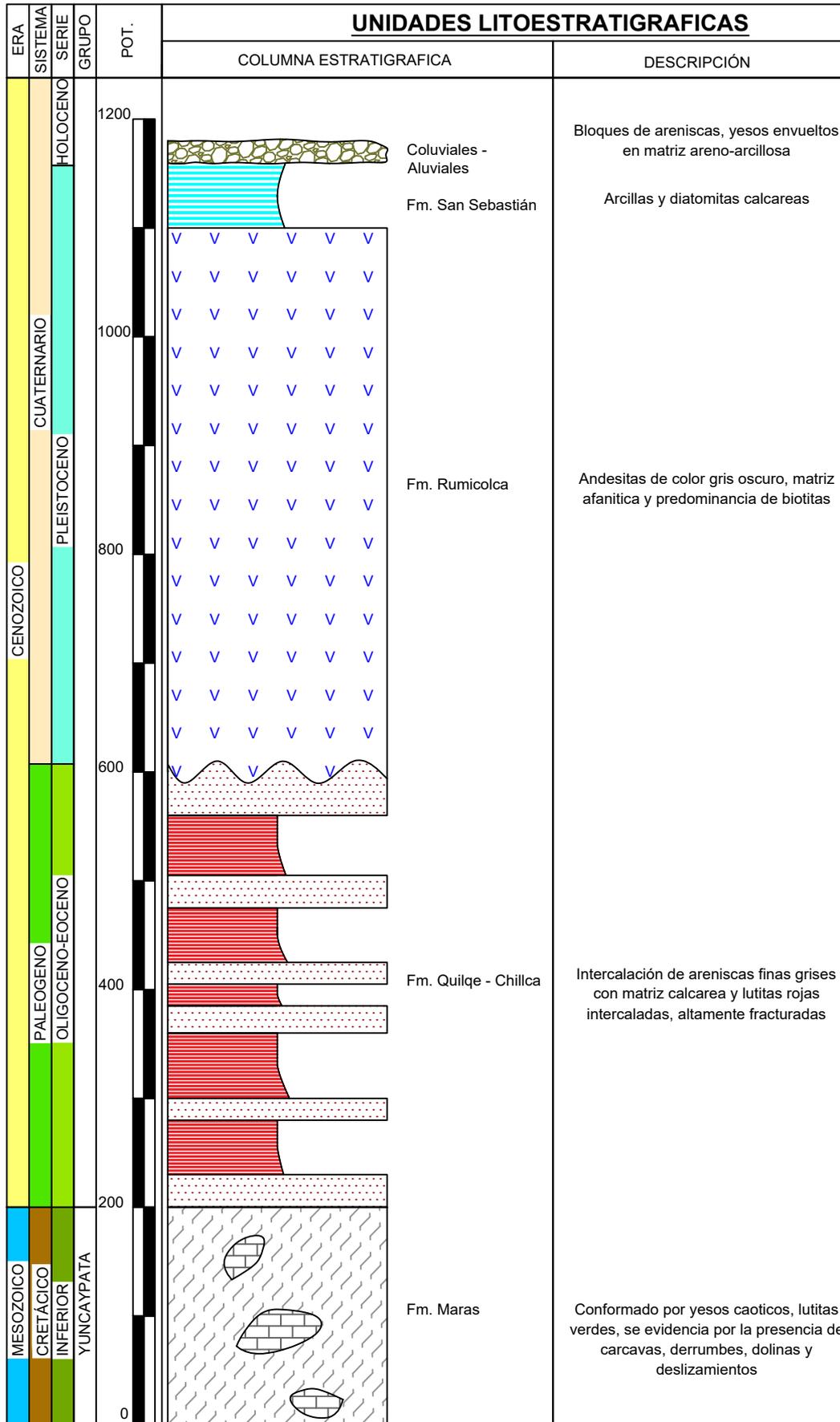
LEYENDA	
	Q-ru
	Q-co-al
	Q-sa
	Pp-qc
	Ki-ma

"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"

PLANO CORTE GEOLOGICO

Elaborado por: Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	Ubicación: Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras		<b>P-GE-3</b>
Escala Indicada		Fecha: Marzo del 2023	

# COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LOCAL



**LEYENDA**

	Bloques de Yesos, Areniscas en matriz
	Niveles de arcillas y diatomitas
	Andesitas
	Areniscas de grano fino, medio, grueso
	Lutitas fracturadas
	Yesos, lutitas caoticas
	Bloques de Calizas

"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLÓGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"

**COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL**

*Elaborado por:*  
Bach. Cristian Valencia  
Bach. Guido Almanza

*Ubicación:*  
Departamento : Cusco  
Provincia : Urubamba  
Distrito : Maras

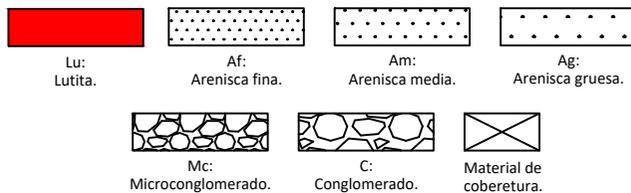


PCL  
01

ESCALA INDICADA

FECHA: MARZO 2023

POTENC.	COLUM. ESTRAT.	LITOLOGIA	MATRIZ						CLASTOS					FRACTURAM.	POROS.	OBSERVACIONES
			TIPO	COMPOS	SELECCIO	REDONDEZ	ESFERICIDAD	SPHARING	EMPAQU	TIPO	REDONDEZ	IC	MAX			
50		Arenisca de grano fino de coloración grisacea	Feldespat	Fd:50% Fr:20 Qz:30	Regu	Sub ang	0.6	Completo						ALTA	Alta	
40		Arenisca de grano medio de coloracion verde amarillenta	Cuarzosa	Qz:60% Fr:15 Fk:15 Bio:10	Regu	Sub redo	0.6	Completo						ALTA	Alta	Areniscas altamente fracturadas y alteradas
30		Intercalación de lutitas marrones y grises violaceos Arenisca fina de coloración marrón plomiza	Arcillosa	Ar:60% Fr:30 Fk:10 Ar:15%	Mala	MA	0.3	X Flotante						MEDIA - ALTA	MEDIO	
20		Lutitas de coloracion marrón, con laminaciones de yeso Arenisca feldespatica de grano fino Lutitas de coloracion marron	Arcillosa	Fk:60 Fr:15 Qz:10 Ar:70% Fr:20 Fk:10	MB	MR	0.9	X Tangente						MEDIA - ALTA	ALTA	Areniscas fracturadas con la presencia de yesos cristalizados
10		Lutitas de coloracion marrón, con laminaciones de yeso Arenisca feldespatica de grano fino Lutitas de coloracion marron Lutitas de coloracion violacea	Arcillosa	Ar:70% Fr:20 Fk:10	B	BR	0.7	X Flotante	Blando	BR		0.5		MEDIA - ALTA	MEDIO	La arenisca presenta nodulos de yeso y clastos de tipo blando.
0		Lutitas de coloracion marrón, con laminaciones de yeso Lutitas de coloracion violacea Lutitas rojas con fragmentos de yesos = 10 cm. Arenisca fina con laminaciones, color rojiza	Arcillosa	Ar:70% FK:15 Fr:10 Qz:5 Ar:50% FK:30 Fr:20	MB	BR	0.9	X Flotante						MEDIA - ALTA	MEDIO	Las lutitas presentan laminaciones irregulares de yesos hacia el techo del estrato. Las lutitas presentan fragmentos de yesos de diametro prodemio 10 cm hacia la base, se determino rumbo de S57°W, y buzamiento N51W. Las areniscas rojizas presentan matriz limosa-arcillosa, laminaciones y superficialmente fracturadas las coordenadas UTM del inicio de la columna son: N=8526093, E=803910.

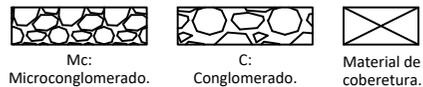
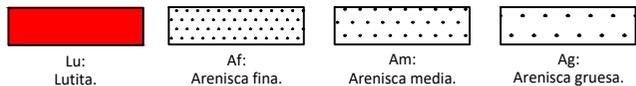


**"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLÓGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"**

**COLUMNA ESTRATIGRAFICA**

Elaborado por: Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	Ubicación: Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras			<b>PCE 01</b>
<b>ESCALA INDICADA</b>		<b>FECHA: MARZO 2023</b>		

POTENC.	COLUM. ESTRAT.	LITOLOGIA	MATRIZ					CLASTOS				FRACTURAM.	POROS.	OBSERVACIONES		
			TIPO	COMPOS	SELECCION	REDONDEZ	ESFERICIDAD	SPALTING	EMPAQU	TIPO	REDONDEZ				C	MxY
100		Arenisca de grano medio, coloracion gris	Arcillosa	Qz:40% Fr:40 Fk:20	MO	Red	0.9	Puntual					MEDIA - ALTA	Alta	Coordenadas UTM, N: 8525997,E:803895, se aprecian clastos en la base	
90		Arenisca de grano medio, coloracion gris blanquesina	Cuarzosa	Qz:40% Fr:30 Qz:30	MB	Sub red	0.8	Puntual					ALTA	Alta		
		Arenisca de grano grueso gris blanquesina														
80		Arenisca de grano medio gris	Feldespat	Qz:10 Ar:70%	MO		0.8	Tangente						ALTA	Alta	Areniscas presentan laminaciones hacia la base, azimut N=275 buzamiento= 49 NW
		Lutita roja	Arcillosa	FK:15 Fr:10 Qz:5	B	BR	0.9	Flotante						MEDIA - ALTA	MEDIO	
		Arenisca de grano fino gris a gris clara	Cuarzosa	Fk:40% Fr:30 Qz:30	MO	Sub ang-red	0.7	Tangente						ALTA	Alta	
70		Arenisca de grano fino gris oscura	Feldespat	Fk:50% Fr:30 Qz:10 Ar:70%	MO	Sub red	0.8	Puntual						ALTA	Alta	Areniscas presentan laminaciones, azimut N=270 buzamiento= 49 NW
		Arenisca de grano medio gris														
		Arenisca de grano fino gris verdusca														
		Lutita roja	Arcillosa	FK:15 Fr:10 Qz:5		BR	0.9	Flotante						MEDIA - ALTA	MEDIO	
60		Arenisca de grano grueso a fino, coloracion grisacea	Feldespat	Fr:50% Fr:30 Cl:10	Regu	Sub ang	0.7	Tangente	Blando				ALTA	Alta	Areniscas altamente fracturadas, existe laminaciones, azimut N=270 buzamiento= 54 NW	
		Arenisca de grano fino de coloración grisacea	Feldespat	Fd:50% Fr:20 Qz:30	Regu	Sub ang	0.6	Completo					ALTA	Alta		
50		Arenisca de grano medio de coloracion verde amarillenta	Cuarzosa	Qz:60% Fr:15	Regu	Sub redo	0.6	Completo					ALTA	Alta	Areniscas altamente fracturadas y alteradas	



**"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLÓGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"**

**COLUMNA ESTRATIGRAFICA**

<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras		<b>PCE</b>  <b>02</b>
<b>ESCALA INDICADA</b>		<b>FECHA: MARZO 2023</b>	

### 3.9.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La característica estructural de la cuenca de Paucarbamba es definida desde luego por los eventos tectónicos y sus interrelaciones que acontecieron dentro del cuadrángulo 27-r y 27-s.

Los Dominios descritos en el cuadrángulo respectivo son 3:

#### 3.9.4 Dominio NE Cordillerano

Este sector corresponde a la cordillera Oriental y está caracterizado por la presencia de rocas del Paleozoico Inferior y cuerpos intrusivos de origen Permiano Superior que afloran en la región.

En esta zona, se observan pliegues de gran tamaño con una orientación predominante en dirección NO-SE, cuyos planos axiales son mayormente verticales o subverticales. Entre estos pliegues, destacan el Anticlinal de Paucartambo, el Anticlinorio de Colquepata y Suntucocha, ubicados en el Cuadrángulo de Calca, así como el Sinclinorio de Yanacochoa, presente en el Cuadrángulo de Urubamba. Todas estas estructuras se ven afectadas por cabalgamientos y fallas inversas que muestran una inclinación hacia el SO.

#### 3.9.5 Dominio SW Altiplánico.

*Este dominio se encuentra en la parte SW de los cuadrángulos de Urubamba Calca, en la que los afloramientos son de edad Mesozoica y Cenozoica principalmente de la Formación Yuncaypata, Quilque, Chilca, Grupo San Jerónimo y la Formación Anta.*

Este dominio se divide en tres fases o sectores:

##### 3.9.5.1 Sector Este

Se pueden observar pliegues Plurikilométricos en dirección WNW-ESE A NW-SE. Ejemplo el Anticlinal de Piuray. Con Núcleo a Fm Puquin - Quilque y Flanco el Grupo San Jerónimo.

### 3.9.5.2 Sector Oeste

Existe una región al norte del distrito de Limatambo y del Abra conocida como Huilque, la cual se caracteriza por la presencia de secuencias geológicas que se originaron en el Mesozoico y el Cenozoico. En esta área, se pueden observar afloramientos de rocas pertenecientes a los grupos Yuncaypata y capas rojas de San Jerónimo, ambas afectadas por pliegues. Estos pliegues muestran una orientación predominante en dirección NE-SO y se encuentran interrumpidos por fallas inversas y diapiros evaporíticos. Se sugiere que los pliegues probablemente se formaron como resultado de la propagación de fallas inversas, con inclinación hacia el norte. Es posible que estos pliegues hayan sido controlados por fallas de movimiento sinistral de rumbo, como la Falla Zurite-Limatambo, durante el período de sedimentación del Grupo San Jerónimo (Carlotto, et al., 1996).

### 3.9.5.3 Sector Central:

En la zona central, se observan claramente las rocas evaporíticas del Grupo Yuncaypata, las cuales han sido denominadas como el Domo de Maras por Marocco (1978). Los depósitos de yeso parecen proceder principalmente de la Formación Maras. Esta estructura forma un cuerpo elongado que se extiende aproximadamente de 25 a 30 km de longitud y 15 km de ancho. El domo parece interrumpir las estructuras en dirección NW-SE del Anticlinorio de Piuray y también afecta a los pliegues en dirección NE-SW del lado este. En la parte superior del domo, se encuentran afloramientos de rocas como areniscas y lutitas del Grupo San Jerónimo, visibles en lugares como la laguna de Huaypo, el cerro Sacro y al sureste de Maras. Estos afloramientos están controlados por fallas inversas que se inclinan hacia el norte, como la falla de Huaypo. Estas fallas han causado la intrusión de los depósitos de yeso, lo que explica su gran espesor. Posteriormente, Chávez en 1995 señala que estas fallas inversas se transformaron en fallas normales, lo que influyó en la ubicación de los cuerpos volcánicos shoshoníticos que afloran sobre las evaporitas (Marocco, 1978).

### 3.9.6 Dominio Intermedio.

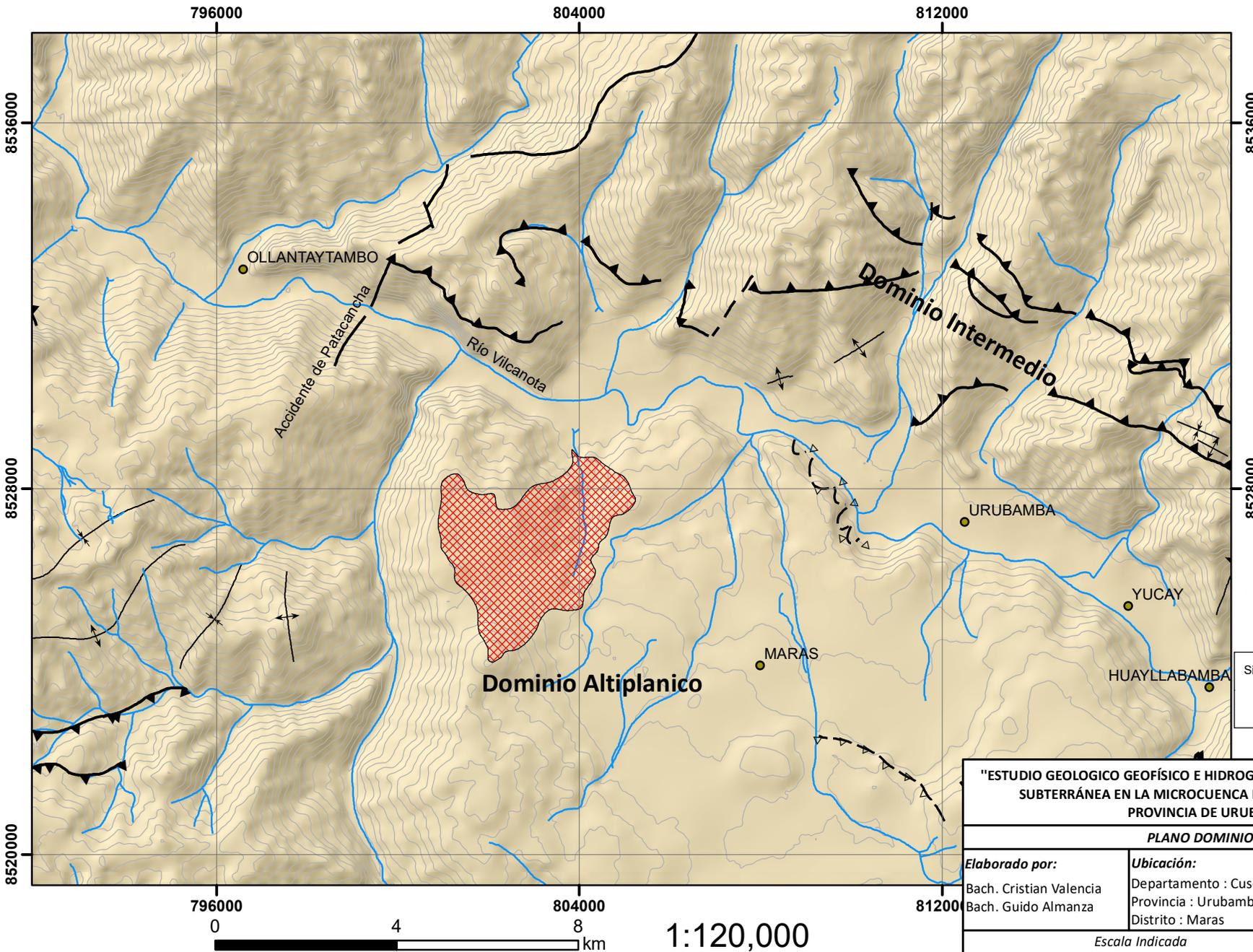
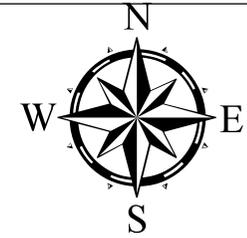
Este dominio se puede dividir en dos partes: una en dirección noreste y otra en dirección suroeste, que aproximadamente corresponde a los flancos del Anticlinal de Vilcanota. El núcleo aflorante del Anticlinal de Vilcanota está formado por el Grupo Copacabana y se extiende en dirección noroeste-sureste. El Dominio Intermedio se interrumpe en dirección

noroeste con un accidente paleo geográfico que va en dirección noreste-suroeste, conocido como el accidente de Patacancha. Este accidente parece haber controlado y limitado el desarrollo del Grupo Mitu y, de manera similar, su segmento sur parece haber influenciado la sedimentación del Grupo San Jerónimo.

Las rocas que se encuentran en este dominio corresponden principalmente al Paleozoico superior y al Meso-Cenozoico. Sin embargo, hacia la Cordillera Oriental y en zonas donde se encuentran escamas tectónicas, afloran rocas del Paleozoico inferior.

**Zona de Estudio.-** Está inmersa dentro del **Dominio Tectónico SW Altiplánico**, exactamente en el **sector central** en el que aflora notoriamente el Grupo Yuncaypata con la presencia de rocas evaporíticas (yesos) de la formación Maras.

# Mapa Dominios Estructurales



### Simbología

- Cap\_Distrito
- Falla Normal
- Alineamiento
- - - Falla Inferida
- ▲▲ Falla Inversa
- ▲ -▲ Deslizamiento
- ↕ Anticlinal
- ↘↙ Sinclinal
- ↘↙ Sinclinal Tumbado
- ▨ Microcuenca
- Drenaje

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18 S  
 Proyección: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 84  
 Fuente: Ingemmet, Minedu, ESRI, Propia

**"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFISICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"**

**PLANO DOMINIOS ESTRUCTURALES**

**Elaborado por:**  
 Bach. Cristian Valencia  
 Bach. Guido Almanza

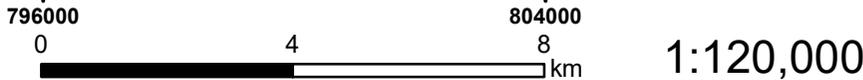
**Ubicación:**  
 Departamento : Cusco  
 Provincia : Urubamba  
 Distrito : Maras



**PDE  
01**

Escala Indicada

Fecha: Marzo del 2023



**Tabla 22***Laminaciones Medidas en Campo*

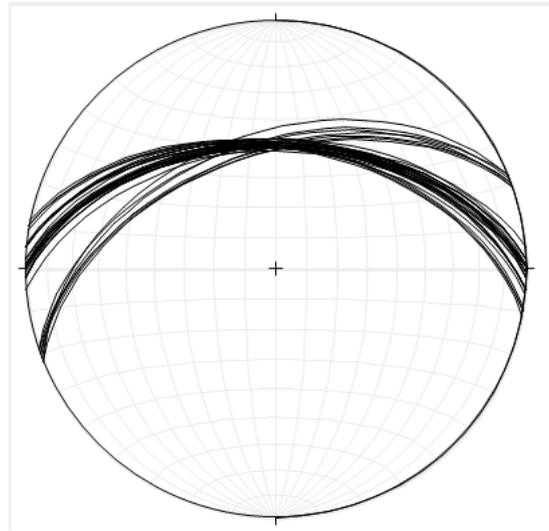
DATOS	DIRECCION	BUZAMIENTO
1	275	49
2	270	49
3	270	49
4	250	51
5	265	50
6	268	49
7	268	49
8	280	50
9	281	49
10	279	49
11	275	48
12	275	47
13	248	51
14	270	50
15	272	47
16	271	48
17	275	49
18	272	50
19	270	49

DATOS	DIRECCION	BUZAMIENTO
20	270	50
21	270	48
22	271	49
23	272	50
24	269	48
25	268	47
26	270	50
27	271	51
28	268	49
29	270	49
30	271	50
31	275	48
32	276	50
33	275	48
34	280	49
35	250	52
36	251	48
37	248	45
38	249	48
39	251	52

*Nota:* Es necesario indicar que las medidas de rumbos y buzamientos se realizaron con consideración de las indicaciones de la regla de la mano derecha.

**Figura 53**

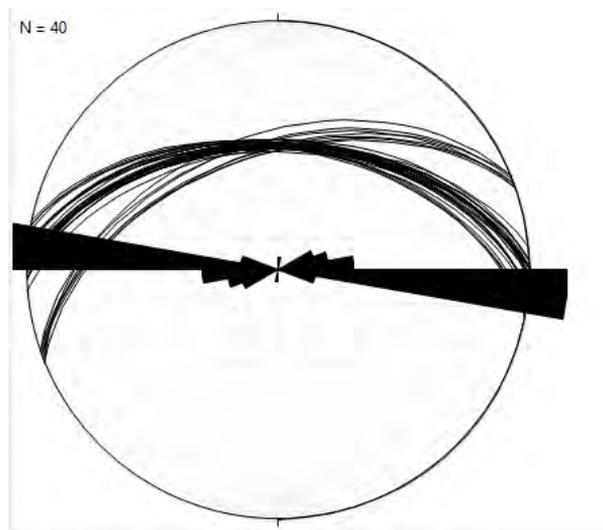
*Planos de laminaciones*



Nota: Planos de laminaciones ploteados en el software Stereonet. Se evidencia una tendencia clara con rumbo en el cuarto cuadrante.

**Figura 54**

*Tendencia principal*



Nota: Se observa en la imagen la tendencia principal de las laminaciones, planos en dirección NE-SW.

### Estratos identificados y medidos

**Tabla 23**

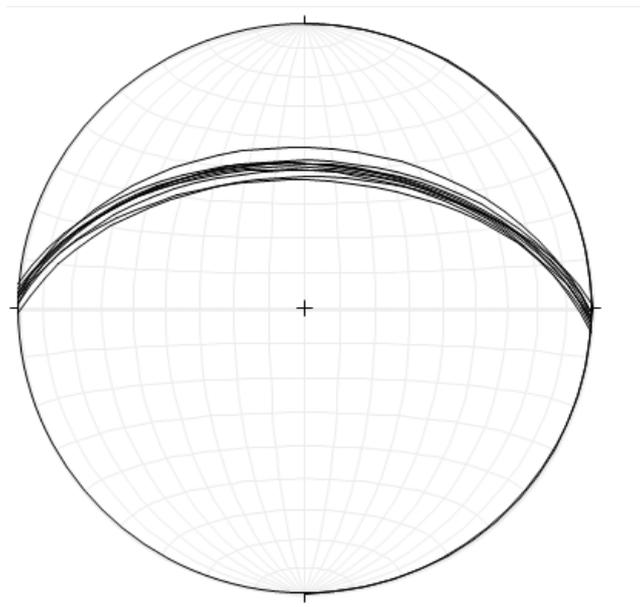
*Medida de Estratos Rb y Bz*

DATOS	DIRECCION RB	BUZAMIENTO
1	272°	48°
2	271°	47°
3	273°	48°
4	274°	50°
5	271°	50°
6	275°	48°
7	272°	43°
8	273°	49°
9	269°	52°
10	272°	53°

Nota: Se observa las medidas de Rumbo y Buzamiento extraídas de campo

**Figura 55**

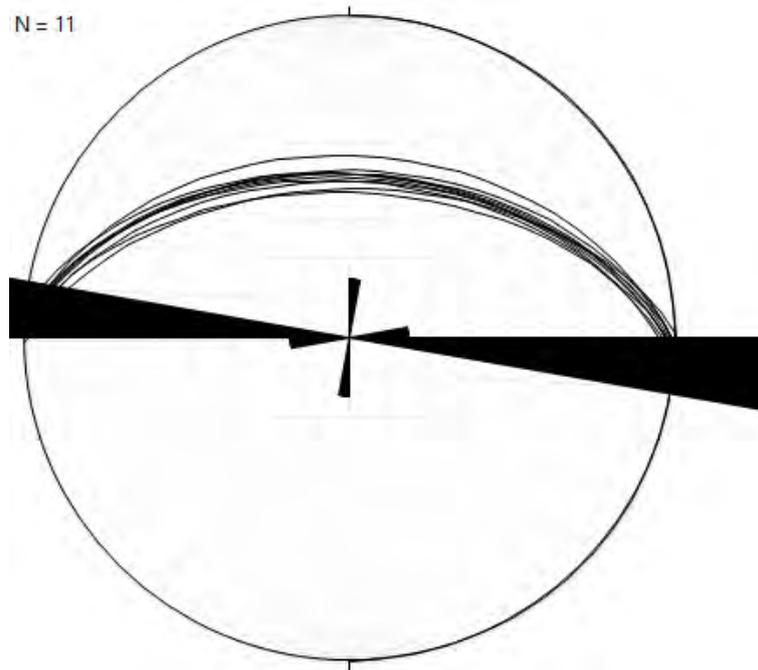
*Orientación de Planos de Estratificación*



Nota: La figura muestra los planos de los estratos medidos, la tendencia indica dirección promedio de 272°N Y Buzamientos al SW

**Figura 56**

*Tendencia de orientación de planos estratificación*



Nota: Se aprecia la tendencia principal de los planos NE-SW, con buzamiento al SW de los estratos

**NOTA:** En las ocurrencias medidas, diaclasas, no existió ningún indicador cinemático que permita caracterizar a alguna como falla, por ende, el uso del software Stereonet y no del Faultkin.

**Figura 57**

*Medidas de rumbos y buzamientos*

**Figura 58**

*Medición de Rumbo y Buzamiento*



**Figura 59**

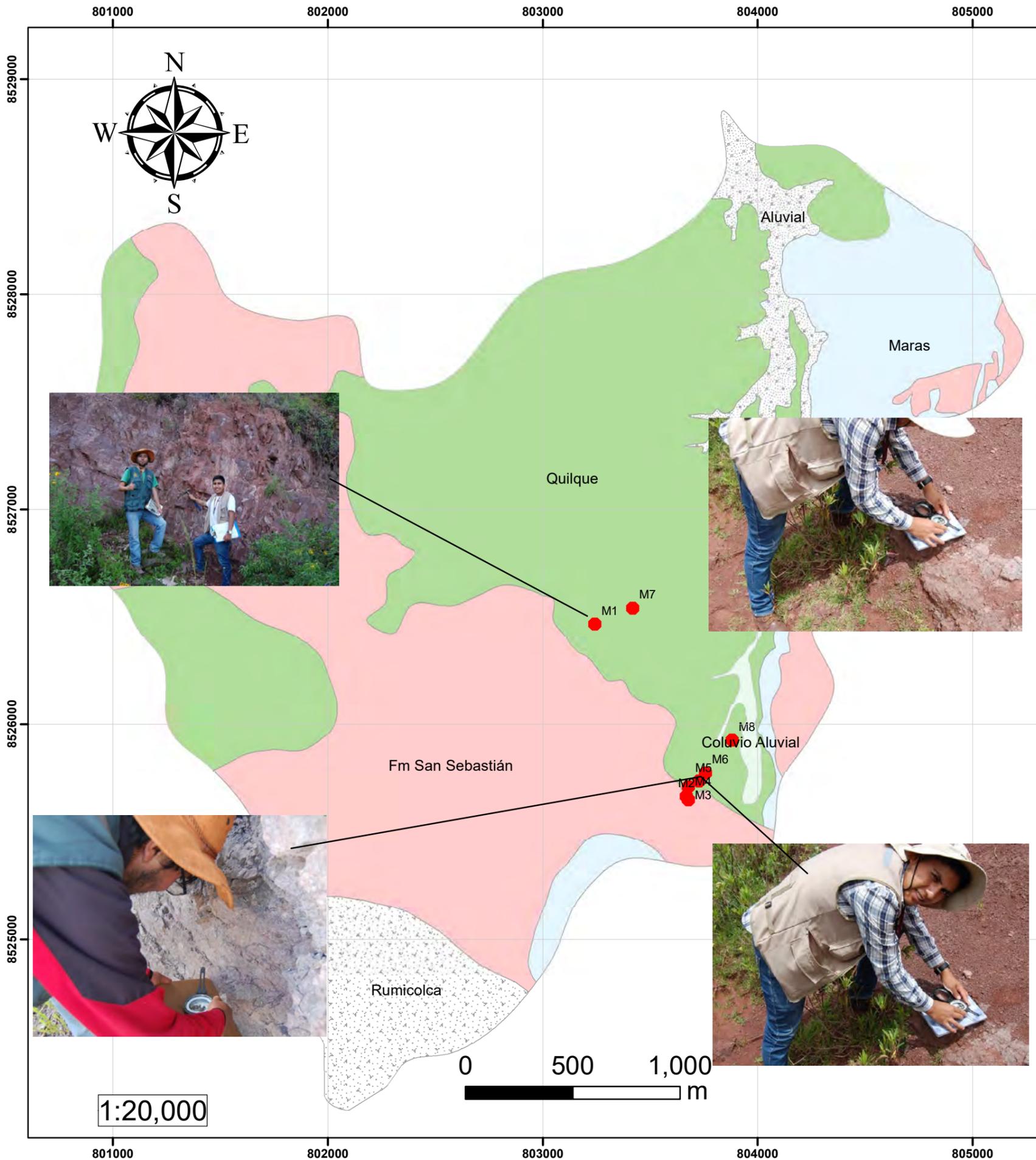
*Estratos medidos Rumbo y Buzamiento*

**Figura 60**

*Medidas de Rumbos y Buzamiento*



# MAPA DE MEDICIONES DE DIRECCIONES RB Y BZ



LEYENDA						
ERA/TEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS			
			Grupo	Formación	Código	Descripción
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Aluvial	Q-al	Bloques de areniscas, yesos envueltos en matriz areno-arcillosa
			Pleistoceno	San Sebastian	Q-sa	Arcillas, diatomitas calcareas y suelos limo arcillosos
	Paleogeno	Oligoceno Eoceno	Fm Quilque	Peo-sj	Areniscas finas grises con matriz calcarea y lutitas rojas intercaladas, medianamente fracturadas	
			Maras	Ki-ma	Conformado por yesos caoticos, lutitas verdes, se evidencia la presencia de carcavas, derrumbes y deslizamientos	
Mesozoico	Cretácico	Inferior	Yuncaypata			

"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFISICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"

**PLANO DE UBICACION DE MEDIDAS DE RB Y BZ**

<b>Elaborado por:</b> Bach. Cristian Valencia Bach. Guido Almanza	<b>Ubicación:</b> Departamento : Cusco Provincia : Urubamba Distrito : Maras		<b>P-RB-1</b>
Escala Indicada	Fecha: Marzo del 2023		

### 3.10 HIDROLOGÍA

#### 3.10.1 Parámetros Hidrológicos

##### 3.10.2 Información Hidrometeorológica

Se conoce que la cuenca Paucarbamba no cuenta con información hidrometeorológica propia, pero existen una red de estaciones meteorológicas en las cercanías al área de estudio es por ello que se optó por usar la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENHAMI) que se encuentra en su base de datos y corresponden a información hidrometeorológica como son: la precipitación, temperatura, humedad, etc. Cabe recalcar que la información obtenida está sujeta a errores sistemáticos y de medición, es por ello que fue necesario realizar el tratamiento a esta información.

Los registros utilizados para el presente trabajo corresponden a las estaciones convencionales y automáticas meteorológicas de Kayra, Pisac, Calca y Urubamba.

**Tabla 24**

*Estaciones Meteorológicas empleadas en el estudio.*

<b>Estación</b>	<b>K'ayra</b>	<b>Pisac</b>	<b>Calca</b>	<b>Urubamba</b>
<b>Tipo de Estación</b>	Convencional – Meteorológico	Convencional – Meteorológico	Automática – Meteorológica	Convencional- Meteorológico
<b>Distrito</b>	San Jerónimo	Pisac	Calca	Urubamba
<b>Provincia</b>	Cusco	Calca	Calca	Urubamba
<b>Departamento</b>	Cusco	Cusco	Cusco	Cusco
<b>Latitud Sur (°)</b>	13° 33' 25"	13° 25' 10.2"	13° 20' 1"	13° 18' 18.6"
<b>Longitud O (°)</b>	71° 52' 31"	71° 51' 3.1"	71° 57' 1"	72° 07' 28.4"
<b>Altitud (msnm)</b>	3219	2990	2926	2850
<b>Periodo</b>	1964-2015	1964-2014	1964-1998	1964-2011

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia en base a registros de SENHAMI.

##### 3.10.3 Análisis, Interpretación y Evaluación de datos Meteorológicos

La información que se recopiló del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENHAMI) corresponde a variables climáticas como son la temperatura, la precipitación, la humedad y horas sol. En un primer momento se planteó trabajar con más estaciones cercanas

como es la estación de Anta-Ancachuro por la cercanía espacial a la zona de estudio, para lo cual se necesitó corroborar los datos mediante el método de construcción del vector regional.

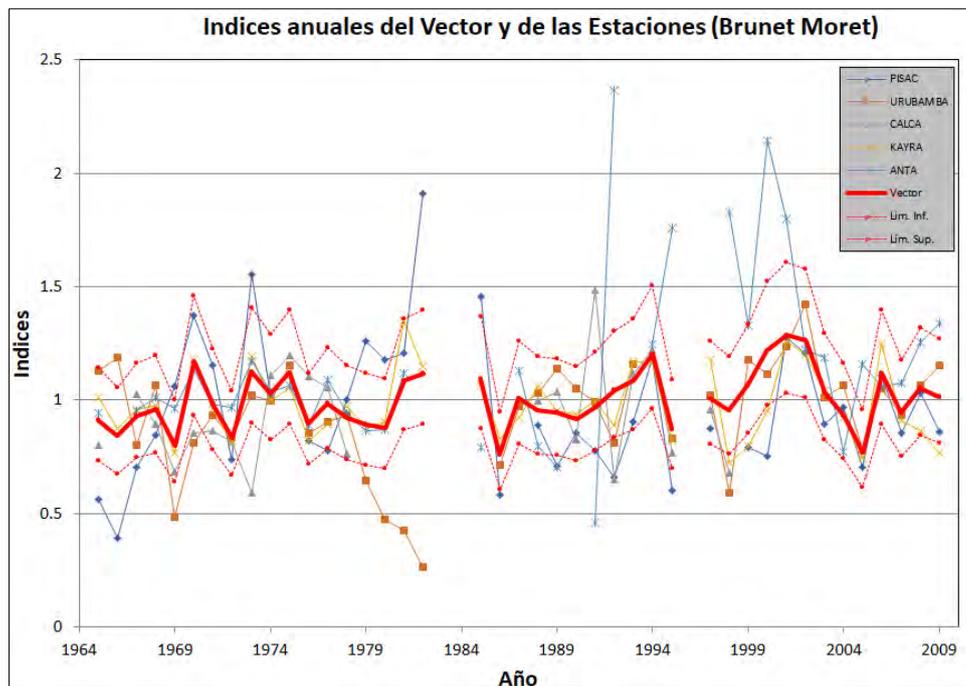
### 3.10.3.1 Método del vector regional

El método del vector regional se entiende como un método matemático -estadístico que tiene como fin la crítica de datos, la homogenización y la extensión- completación de datos de precipitación para lo que se plantea la elaboración de una estación ficticia “estación promedio” de las estaciones de la zona con la que se compara cada una de las estaciones en vez de comparar estaciones en grupos de dos por el análisis de correlación o de doble masa, como se desarrolla en la metodología clásica de análisis. Para la creación del vector regional se recurrió al software HYDRACCES, paquete computacional que desarrolla el vector regional y brinda información mediante graficas (Espinoza, 2005).

Para realizar el análisis y selección de las estaciones adecuadas, se realizó al procesamiento mediante el software Hydracces usando la información de precipitación pluvial correspondiente a las estaciones de: Pisac, Urubamba, Calca, Kayra y Anta, se evidencia mediante un análisis gráfico y por la comparación de los valores de la desviación estándar de desvíos que calcula el programa y la correlación de cada estación con el vector regional que la estación de Anta presenta variaciones en su comportamiento frente al resto de estaciones analizadas, por lo que se excluirá para construir un nuevo vector regional y proceder con los análisis de datos meteorológicos.

**Figura 61**

*Grafica de Vector Regional 1.*



*Nota. Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 51 se aprecia el gráfico del vector regional y las estaciones estudiadas en donde claramente salta a la vista que la estación de Anta tiene picos y saltos muy elevados en comparación con las estaciones y con el vector regional mismo.

Otro de los aspectos a evaluar son los índices de desviación estándar de desvíos que presentan las estaciones en las cuales las estaciones que más se acercan a cero indica que el vector regional está mejor construido, el índice de correlación de las estaciones con el vector regional también facilita la interpretación siendo los valores que más se aproximen a la unidad los que mejor se correlacionen con el vector regional.

De esta manera en la tabla 22 se observan que los valores correspondientes a la estación de Anta superan los parámetros necesarios y con el análisis del grafico en la figura 52 se estableció excluir a esta estación y generar un nuevo vector regional.

Tabla 25

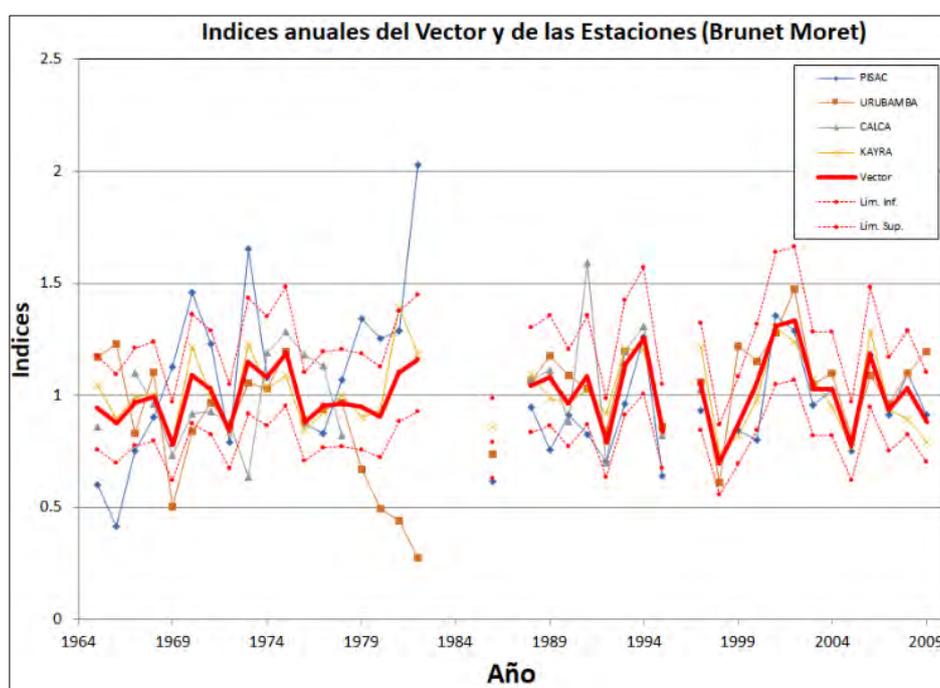
*Índices de correlación y vector regional.*

ID Estación	Nº Años	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
PISAC	39	0.255	0.543
URUBAMBA	40	0.234	0.37
CALCA	23	0.214	0.266
KAYRA	42	0.111	0.714
ANTA	36	0.386	0.381

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

Figura 62

*Grafica de Vector Regional 2*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

En la figura 52 se aprecia la gráfica del segundo vector regional construido en donde se tiene mayor homogeneidad en los gráficos de las estaciones que se ajustan al vector regional.

En la tabla 23 se observan los índices de desvío estándar de desvíos que tienden mejor o se acercan a cero, de la misma manera los índices de correlación de estaciones con el vector regional tienen una mayor aproximación a la unidad.

**Tabla 26**

*Índices de correlación y vector regional.*

<b>ID Estación</b>	<b>N° Años</b>	<b>D.E. Desvíos</b>	<b>Correl. /Vector</b>
<b>PISAC</b>	38	0.253	0.592
<b>URUBAMBA</b>	39	0.235	0.408
<b>CALCA</b>	23	0.183	0.586
<b>KAYRA</b>	40	0.082	0.866

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

### **3.10.4 Análisis de Precipitación**

Se conoce como precipitación a toda humedad originada en las nubes, constituidas por pequeñísimas gotas de agua, y que llega a la superficie terrestre en forma de llovizna, lluvia, escarcha, nieve o granizo (Villón 2007).

Conforme se incrementa la altitud se incrementa también la precipitación, por ello las zonas que presentan mayor altitud cuentan con una precipitación mayor en comparación de áreas con baja altitud.

#### **3.10.4.1 Análisis Exploratorio Grafico o análisis de Hidrogramas**

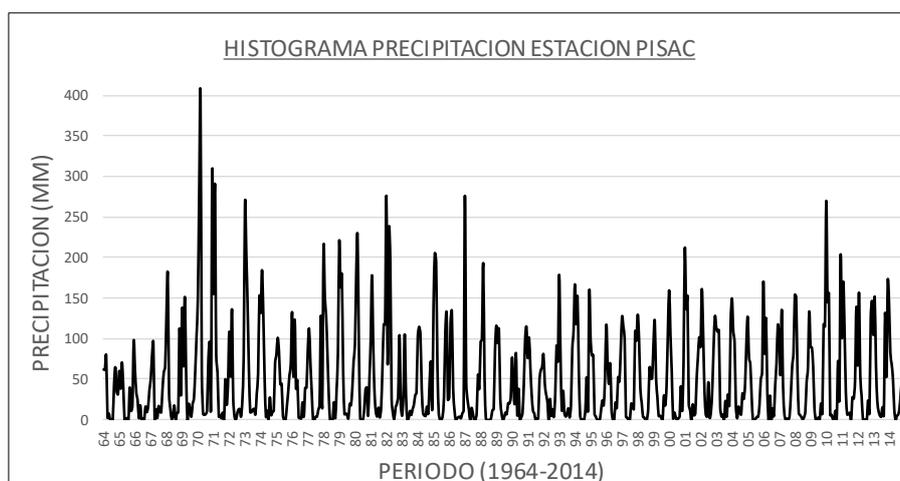
Una vez establecidas las estaciones hidrometeorológicas de estudio se procedió a realizar el análisis de hidrogramas de cada estación con el fin de detectar e identificar la inconsistencia que puede presentar la información meteorológica de manera visual en los hidrogramas, que vienen a ser un gráfico en la que el eje horizontal se ubica el periodo de tiempo de la información recogida (años) y en el eje vertical se grafica la precipitación.

En estos gráficos se puede observar la uniformidad de datos o la inconsistencia identificando picos muy altos o picos muy bajos, así como saltos significativos lo que puede indicar fenómenos naturales, errores sistemáticos, déficit en la toma de datos, cambios en las estaciones de registro, etc.

Una vez realizados los gráficos y el análisis visual se observaron que podrían existir inconsistencia de datos en las estaciones de Pisac y Urubamba además de existir datos faltantes en las estaciones de Pisac, Urubamba y Calca, datos que fueron completados inicialmente con el promedio mensual para el análisis en plantillas Excel y software de tratamiento.

### Figura 63

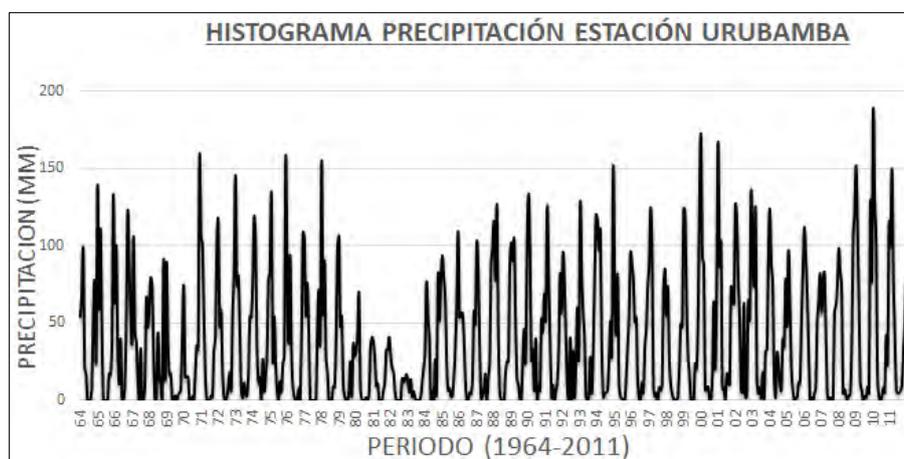
*Histograma de precipitación para serie de tiempo estación Pisac.*



*Nota. Fuente: Elaboración Propia.*

### Figura 64

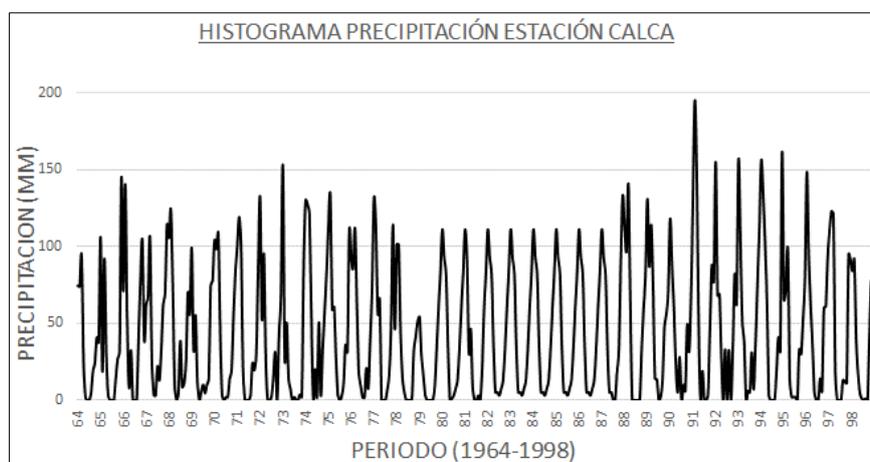
*Histograma de precipitación para serie de tiempo estación Urubamba.*



*Nota. Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 65**

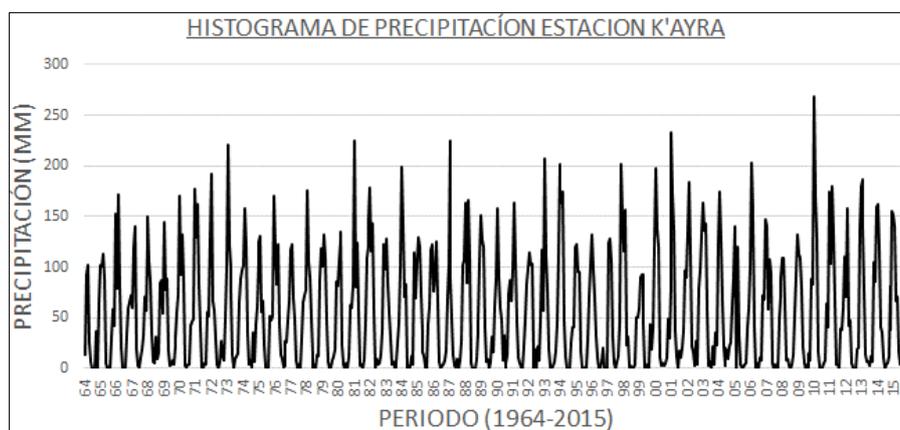
*Histograma de precipitación para serie de tiempo estación Urubamba.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

**Figura 66**

*Histograma de precipitación para serie de tiempo estación K'ayra.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

### 3.10.4.2 Análisis de doble Masa

Consiste en otro análisis gráfico en la que se busca conocer la confiabilidad de la información meteorológica y al igual que con los gráficos de hidrogramas poder analizar la consistencia referido a errores de recolección de datos, fenómenos naturales, etc.

El análisis por el método de doble masa busca identificar quiebres en los diagramas lo que nos representa fenómenos naturales o errores sistemáticos pudiendo localizar el rango de estos periodos.

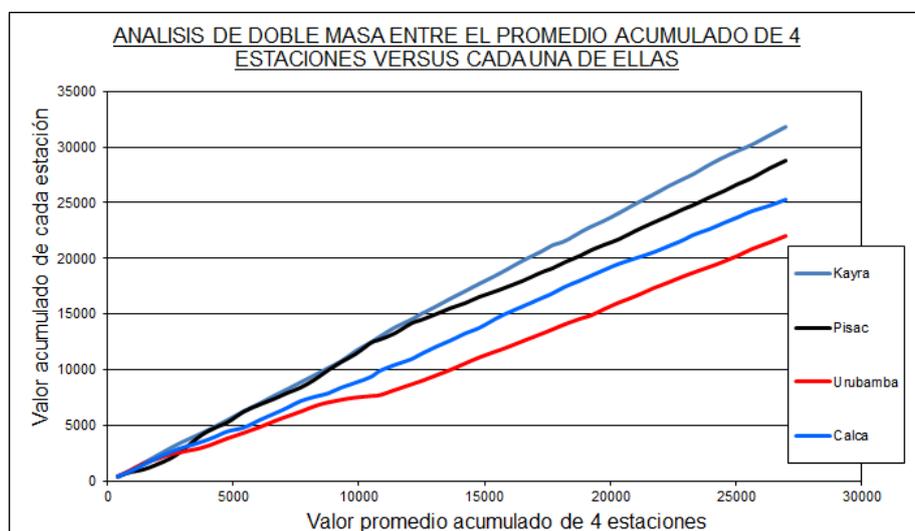
Para la gráfica del diagrama de doble masa se posicionan en el eje horizontal los acumulados de los promedios de datos meteorológicos y en el eje vertical los acumulados de cada estación meteorológica.

Para el presente estudio se construyó el diagrama de doble masa considerando en el eje horizontal los valores de precipitación media anual promedio de las estaciones de K'ayra, Pisac, Urubamba y calca la que se conoce como estación base o estación promedio.

En el siguiente grafico se muestran las gráficas de doble masa de las estaciones en estudio identificando que no existen “quiebres significativos” en las estaciones de K'ayra, Pisac y calca mientras que en la estación de Urubamba existe un pequeño quiebre al inicio de la gráfica, lo que insinúa un salto en esta estación y sería necesario el análisis estadístico para la estación de Urubamba.

### Figura 67

*Análisis de doble masa de estaciones en estudio.*



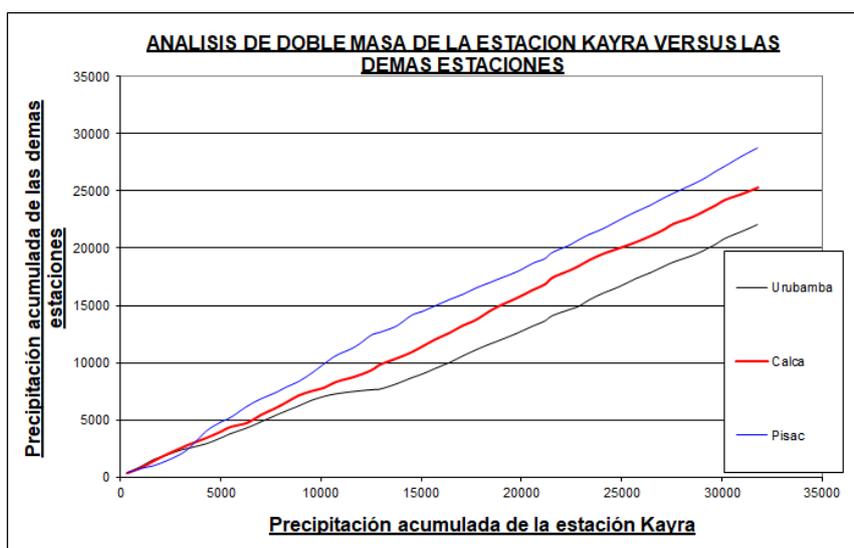
*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

Otro de los métodos de análisis de diagrama de doble masa es la comparación de las estaciones con una estación confiable libre de saltos y tendencias como es la estación de K'ayra, se hizo la comparación de las estaciones de Pisac, Urubamba y Calca, no se encontró saltos en las

estaciones de Calca y Pisac salvo la estación de Urubamba la que de manera similar al gráfico anterior muestra un salto en los primeros rangos de análisis, este indicativo junto al análisis de hidrogramas señalan que es necesario el análisis estadístico para esta estación así como la completación y extensión de datos meteorológicos para todas las estaciones en estudio.

### Figura 68

*Análisis de doble masa de estación K'ayra vs estaciones de estudio.*



Nota. Fuente: Elaboración Propia

#### 3.10.4.3 Análisis Estadísticos

Una vez construidos los hidrogramas y gráficos de doble masa, se realizó el análisis visual en la que se estableció que la estación de Urubamba presenta saltos así como una posible inconsistencia y no homogeneidad de los datos recogidos, pero debido a que solo es un primer análisis visual fue necesario corroborar estas afirmaciones mediante el tratamiento estadístico de la estación Urubamba, estación que presenta inconsistencias, así como el resto de estaciones para tener una mayor confiabilidad en el análisis de la información.

## Análisis de saltos:

### Consistencia en la Media

Una vez realizado el gráfico de histogramas se procede a identificar y separar dos o tres periodos de corrección en la que los datos muestren diferente heterogeneidad con respecto a todo el gráfico en general, este primer análisis consiste en probar mediante la prueba de hipótesis “t” si las medias de los periodos a corregir son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad de 95% esto representando el 5 % de nivel de significación. (Villon, 2007).

a) Cálculo de la media y de la desviación estándar para las submuestras, según:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i ; S_1(x) = \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} x_j ; S_2(x) = \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$x_i, x_j$  =valores de las series de los períodos 1 y 2 respectivamente

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$  =media de los períodos 1 y 2 respectivamente

$S_1(x), S_2(x)$  = desviación estándar de los períodos 1 y 2 respectivamente

$n$  = tamaño de la muestra

$n_1, n_2$  =tamaño de las submuestras

$n = n_1 + n_2$

a) Cálculo del  $t$  calculado ( $t_c$ ) :

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}}$$

Donde:  $\mu_1 - \mu_2 = 0$  (por hipótesis, la hipótesis indica que las medias son iguales)

Quedando:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}}$$

Además:

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_p = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Siendo:

$S_{\bar{d}}$  = desviación de las diferencias de los promedios

$S_p$  = desviación estándar ponderada

### Consistencia en la desviación estándar

Método estadístico que busca probar, mediante la elaboración de prueba de F, si los valores de las desviaciones de las submuestras son estadísticamente iguales o se diferencian, con el 95% de probabilidad o con el 5% de nivel de significancia (Villon, 2007).

a) Cálculo de las varianzas de ambos periodos:

$$S_1^2(x) = \left( \frac{1}{n_1 - 1} \right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2$$

$$S_2^2(x) = \left( \frac{1}{n_2 - 1} \right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

b) Cálculo del F calculado ( $F_c$ ), según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

c) Cálculo del F tabular (valor crítico de F ó F1), se obtiene de las tablas F para una probabilidad del 95% lo que quiere decir con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$  y los grados de libertad:

$$\text{G.L.N} = n_1 - 1$$

$$\text{G.L.D} = n_2 - 1, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

Donde:

G.L.N = grados de libertad del numerador

G.L.D = grados de libertad del denominador

c) Comparación del  $F_c$  con el  $F_t$ :

- Si  $F_c \leq F_t$  (95%)  $S_1(x) = S_2(x)$  (estadísticamente)
- Si  $F_c > F_t$  (95%)  $S_1(x) \neq S_2(x)$  (estadísticamente), por los que se debe corregir.

### **Análisis de Tendencias**

Para el análisis de tendencias es necesario realizar previamente el análisis de saltos, luego se procede al análisis de tendencias en la media y la desviación estándar.

a) Consistencia en la media:

La tendencia en la media se expresa en forma particular por medio de la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_m = A_m + B_m t$$

Donde:

$t$  = tiempo en años, tomando como la variable independiente de la tendencia.

$$t = 1, 2, 3, \dots, n$$

$T_m$  = tendencia en la media, para este caso:

$T_m = X'_{(t)}$  valor corregido de saltos, es decir, datos a usarse para el cálculo de los parámetros.

$A_m, B_m, C_m, D_m, \dots$  = coeficientes de los polinomios de regresión, que deben ser estimados con los datos.

Media

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \qquad \bar{T}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_m$$

Desviación Estándar

$$S_t = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \qquad S_{T_m} = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_m - \bar{T}_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$\bar{T}_m$  = promedio de las tendencias  $T_m$ , o promedio de los datos corregidos de saltos  $X'_{(t)}$

$\bar{t}$  = promedio de tiempo  $t$

$S_{T_m}$  = desviación estándar de la tendencia de la media  $T_m$

$S_t$  = desviación estándar del tiempo  $t$

Coficiente de correlación (R) y parámetros de la recta ( $A_m$  y  $B_m$ )

$$\overline{tT_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i T_{mi} \qquad R = \frac{\overline{tT_m} - \bar{t} \bar{T}_m}{S_t \cdot S_{T_m}} \qquad A_m = \bar{T}_m - \bar{t} B_m \qquad B_m = R \frac{S_{T_m}}{S_t}$$

$$\text{Prueba de hipótesis (t de Student)} \quad t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

*Corrección de datos*

$$Y = X - T_m + \overline{T_m} \qquad Y = X - (A_m + B_m t) + \overline{T_m}$$

b) Consistencia en la desviación estándar:

La ecuación de regresión lineal (t: tiempo, Ts: Variable sin tendencia en la media)

$$T_s = A_s + B_s t$$

Media:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \qquad \overline{T_s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_s$$

Desviación estándar

$$S_t = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \qquad S_{T_s} = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_s - \overline{T_s})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Coefficiente de correlación (R) y parámetros de la recta (As y Bs)

$$\overline{tT_s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i T_{si} \qquad R = \frac{\overline{tT_s} - \bar{t} \overline{T_s}}{S_t \cdot S_{T_s}} \qquad A_s = \overline{T_s} - \bar{t} B_s \qquad B_s = R \frac{S_{T_s}}{S_t}$$

$$\text{Prueba de hipótesis (t de Student)} \quad t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

*Corrección de datos*

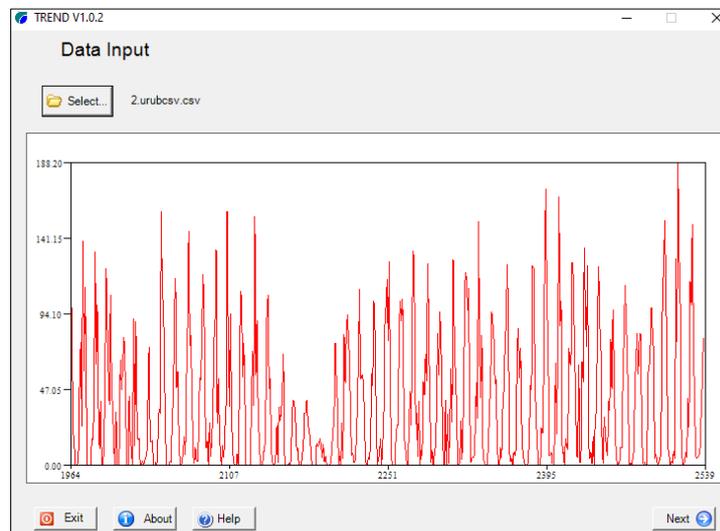
$$Z = \frac{Y - T_m}{T_s} \overline{T_s + \overline{T_m}} \qquad Z = \frac{Y - T_m}{A_s + B_s T} \overline{T_s + \overline{T_m}}$$

Una vez establecidas las condiciones teóricas se procedió al análisis estadístico de los datos de precipitación, mediante el software TREND, software que consta de 12 test estadísticos lo que permite una verificación más exacta y en menor tiempo de la consistencia de datos mediante el análisis de saltos y tendencias.

Mediante el uso de plantillas se genera la data necesaria recogida previamente de las estaciones meteorológicas, estos datos se presentan en un primer momento sin corregir con presencia de saltos y tendencias, así como datos faltantes completados con el promedio mensual. La figura 59 muestra los datos de precipitación media mensual de la estación de Urubamba graficados en un histograma en el entorno del programa TREND, grafico que ayuda en un análisis visual para determinar la inconsistencia de datos.

### Figura 69

*Histograma de precipitación media mensual.*



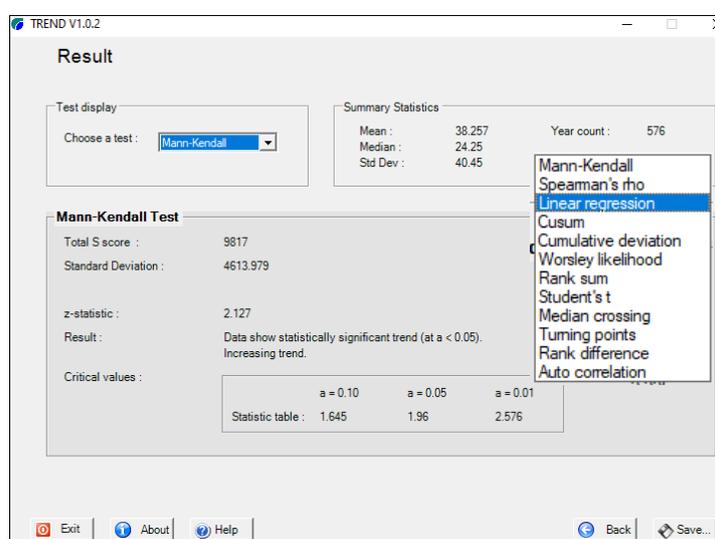
*Nota.* Fuente: Elaboración Propia en software TREND

La figura 60 muestra los resultados de análisis de consistencia para las 12 pruebas establecidas en el software teniendo pruebas paramétricas y no paramétricas, el test que se visualiza corresponde a la prueba no paramétrica de Mann - Kendall que hace un análisis a partir de las tendencias en la media, el test muestra los principales valores estadísticos, desviación estándar, z estadístico, el análisis muestra que existe una inconsistencia en los datos a un nivel de significancia de 0.05 o como también se conoce el 95 % de confiabilidad, cabe recalcar que para un buen análisis hidrológico es recomendable el trabajo al 95 % de confiabilidad, siendo el 99 % un valor de análisis para estudios hidrológicos a mucho mayor detalle.

El software permite exportar los resultados de las 12 pruebas estadísticas, para una correcta visualización, la tabla 24 muestra los test más usados en análisis estadísticos agrupando según el análisis de salto o tendencia, muestra el tipo de prueba paramétrica o no paramétrica, así como el nivel de significancia 0.1, 0.05 o 0.01, en la tabla también se observa la existencia de significancia estadística según al nivel indicado (S 0.001) o la no significancia (NS).

### Figura 70

*Resultados para la prueba estadística de Mann-Kendall.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia en software TREND

En un primer análisis visual y de doble masa se estableció que no existían saltos en las estaciones de Pisac y Calca, realizando el análisis estadístico por medio de software se verifica que no existe inconsistencia en los saltos y tendencias en la media. Las tablas 24 y 25 muestran el resultado de los análisis estadísticos de salto y tendencia para las estaciones de Calca y Pisac.

### Tabla 27

*Resultados de análisis estadístico de salto y tendencia para la estación Calca.*

Tabla Estadística							
Test statistic	Z-Estadístico	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	Tipo prueba	Prueba
<b>Mann-Kendall</b>	0.721	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	TENDENCIAS
<b>Spearman's Rho</b>	1.219	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
<b>Linear regression</b>	1.069	1.654	1.973	2.603	NS	PARAMÉTRICO	

<b>Cusum</b>	23	25.003	27.872	33.405	NS	NO PARAMÉTRICO	
<b>Cumulative deviation</b>	0.82	1.188	1.315	1.578	NS	PARAMÉTRICO	
<b>Worsley likelihood</b>	1.762	2.866	3.152	3.79	NS	PARAMÉTRICO	SALTOS
<b>Rank Sum</b>	-1.604	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
<b>Student's t</b>	-1.284	1.654	1.973	2.603	NS	PARAMÉTRICO	

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 28**

*Resultados de análisis estadístico de salto y tendencia para la estación Pisac.*

<b>Tabla Estadística</b>							
Test statistic	Z-Estadístico	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	Tipo prueba	Prueba
<b>Mann-Kendall</b>	0.477	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
<b>Spearman's Rho</b>	0.592	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	TENDENCIAS
<b>Linear regression</b>	0	1.651	1.969	2.594	NS	PARAMÉTRICO	
<b>Cusum</b>	13	30.181	33.645	40.324	NS	NO PARAMÉTRICO	
<b>Cumulative deviation</b>	0.78	1.198	1.33	1.596	NS	PARAMÉTRICO	
<b>Worsley likelihood</b>	2.621	2.864	3.148	3.79	NS	PARAMÉTRICO	SALTOS
<b>Rank Sum</b>	0.035	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
<b>Student's t</b>	0.862	1.651	1.969	2.594	NS	PARAMÉTRICO	

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

Los resultados para la estación Urubamba muestran que gran parte de los test presentan inconsistencia a un nivel de 0.05 y 0.01, siendo necesario una corrección en determinado bloque de datos para que tengamos una base de datos libre de saltos y tendencias.

**Tabla 29**

*Resultados de análisis estadístico de salto y tendencia para la estación Urubamba.*

<b>Tabla Estadística</b>							
Test statistic	Z-Estadístico	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	Tipo prueba	Prueba
<b>Mann-Kendall</b>	2.127	1.645	1.96	2.576	S (0.05)	NO PARAMÉTRICO	
<b>Spearman's Rho</b>	2.475	1.645	1.96	2.576	S (0.05)	NO PARAMÉTRICO	TENDENCIAS
<b>Linear regression</b>	2.225	1.651	1.97	2.596	S (0.05)	PARAMÉTRICO	
<b>Cusum</b>	28	29.28	32.64	39.12	NS	NO PARAMÉTRICO	
<b>Cumulative deviation</b>	1.674	1.196	1.327	1.592	S (0.01)	PARAMÉTRICO	
<b>Worsley likelihood</b>	3.375	2.864	3.149	3.79	S (0.05)	PARAMÉTRICO	SALTOS
<b>Rank Sum</b>	-3.62	1.645	1.96	2.576	S (0.01)	NO PARAMÉTRICO	
<b>Student's t</b>	-3.091	1.651	1.97	2.596	S (0.01)	PARAMÉTRICO	

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

Evidenciado las inconsistencias en los datos de la estación de Urubamba, mediante el uso de las ecuaciones de parámetros estadísticos y corrección de datos se optó por corregir los datos dividiendo en dos grupos de evaluación siendo el primer grupo, correspondiente a los años de 1964 a 1984, los valores que necesitan la corrección. Mediante el uso de plantillas en Excel se estableció los valores de corrección y la nueva base de datos para la estación de Urubamba, estos nuevos valores nuevamente se introdujeron al software TREND para evidenciar la existencia de saltos y tendencias.

La tabla 27 muestra los resultados de análisis en software de la estación Urubamba donde luego de la corrección de datos de precipitación se evidencia la no existencia de inconsistencia de saltos y tendencias.

**Tabla 30**

*Resultados de análisis estadístico de salto y tendencia para la estación Urubamba corregido.*

<b>Tabla Estadística</b>							
<b>Test statistic</b>	Z-Estadístico	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	Tipo prueba	Prueba
<b>Mann-Kendall</b>	-0.035	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	TENDENCIAS
<b>Spearman's Rho</b>	0.317	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
<b>Linear regression</b>	-0.406	1.651	1.97	2.596	NS	PARAMÉTRICO	
<b>Cusum</b>	17	29.28	32.64	39.12	NS	NO PARAMÉTRICO	SALTOS
<b>Cumulative deviation</b>	1.136	1.196	1.327	1.592	NS	PARAMÉTRICO	
<b>Worsley likelihood</b>	2.462	2.864	3.149	3.79	NS	PARAMÉTRICO	
<b>Rank Sum</b>	-1.087	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
<b>Student's t</b>	-0.504	1.651	1.97	2.596	NS	PARAMÉTRICO	

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

### 3.10.5 Completado y extensión de registros

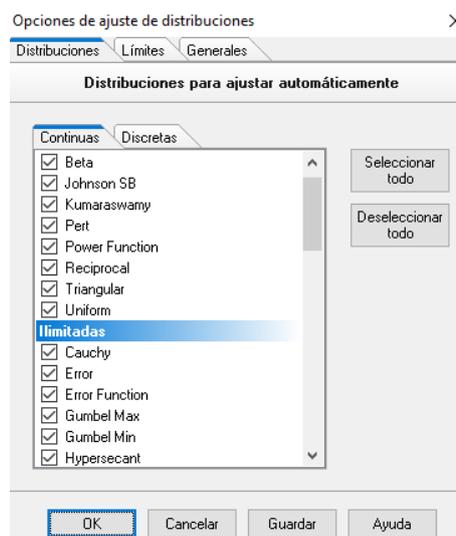
Los registros hidrometeorológicos presentan datos faltantes debido a diversos factores, para un primer estudio se completó estos valores faltantes con la media mensual para los análisis de saltos y tendencias. Es por ello que establecido el análisis estadístico inicial se procedió a completar y extender los registros faltantes. Para el proceso se utilizó el software estadístico Easyfit que trabaja mediante el ajuste de distribución de probabilidad mediante las pruebas de

bondad de ajuste. Las pruebas de bondad buscan determinar si los datos observados se ajustan a un determinado nivel de significancia, entre las pruebas que se analizan para estudios de tipo hidrológico se toma en consideración las funciones de probabilidad de las pruebas de Smirnov Kolmogorov, Anderson Darling y Chi cuadrado.

El software muestra diferentes ventajas frente a los métodos convencionales de análisis mediante plantillas Excel o bases de datos, comparando el mejor valor de la función representativa para el análisis de la media vs el valor obtenido por el software, siendo en diferentes casos la media un valor sobreestimado o subestimado para el análisis de completación y extensión.

### Figura 71

*Ajustes de distribución de probabilidad del usado en software EASYFIT.*



*Nota.* Fuente: software EASYFIT.

El software por ser de característica de análisis estadístico presenta más de 40 distribuciones de probabilidad para datos de aplicación en diferentes áreas, debido al estudio de hidrología y mediante las diferentes literaturas existentes se opta por trabajar con las 10 distribuciones de probabilidad más usadas para estudios hidrológicos siendo representados en la tabla 28.

**Tabla 31**

*Distribuciones de probabilidad para hidrología.*

DISTRIBUCIONES HIDROLOGICAS	
Normal o Gaussiana	
Log-Normal	
Log-Normal (2P)	
Log-Normal (3P)	
Gamma	
Gamma (2P)	
Gamma (3P) o Pearson Tipo III	
Log-Pearson Tipo III	
Gumbel o Frechet	
Log-Gumbel	

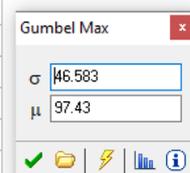
*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Establecidas las distribuciones de trabajo se opta por exportar los registros mensuales de precipitación al software, el análisis del software varía según la distribución más adecuada a cada serie de datos jerarquizando según la bondad de ajuste de Kolmorov-Smirnov. La figura 62 representa el análisis para el registro histórico del mes de enero de la estación Pisac, clasificando, como la distribución más adecuada, a la distribución Gumbel Max, mostrando también valores de desviación típica y media.

**Figura 72**

*Clasificación de distribuciones para la estación Pisac.*

Bondad de ajuste - Resumen							
#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
5	Gumbel Max	0.06307	1	0.31016	1	2.7607	4
9	Lognormal (3P)	0.07024	2	0.39341	2	1.3509	1
3	Gamma	0.07177	3	0.48647	4	2.2777	3
4	Gamma (3P)	0.07598	4	0.46388	3	2.161	2
10	Normal	0.10875	5	1.2165	5	4.4683	5
2	Frechet (3P)	0.12404	6	5.4268	9	N/A	
8	Lognormal	0.13532	7	1.5183	6	9.551	7
7	Log-Pearson 3	0.1545	8	26.666	10	N/A	
6	Gumbel Min	0.17645	9	5.2168	7	6.8676	6
1	Frechet	0.22367	10	5.3432	8	23.238	8

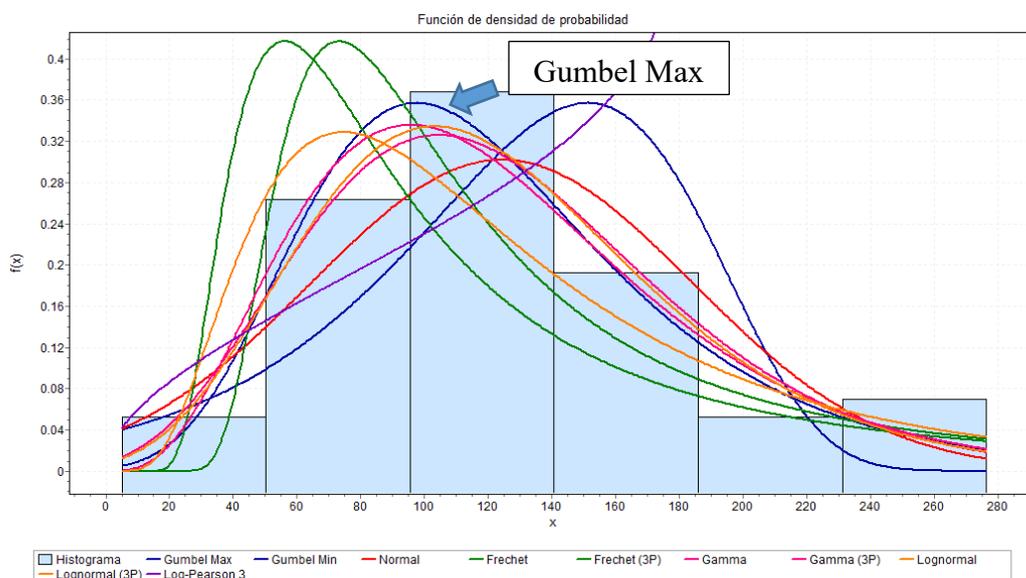


*Nota.* Fuente: software EASYFIT.

La figura 63 muestra los gráficos de función de densidad de probabilidad analizados siendo la distribución de Gumbel la que mejor se adecua al histograma de frecuencias. Este gráfico y la clasificación variara según la serie de datos analizados lo que obedece también al periodo de precipitación de los datos teniendo épocas lluviosas y secas.

### Figura 73

*Funciones de densidad de probabilidad e histograma.*



*Nota.* Fuente: software EASYFIT.

Establecidos la distribución más adecuada para cada registro mensual, el software mediante la creación de números aleatorios permite completar y extender la serie de datos faltantes, este proceso se realizó para todas las estaciones en estudio, siendo la estación de calca la que más datos faltantes presentaba.

La tabla muestra el registro de datos de la estación Calca con datos faltantes y una segunda tabla con datos completados y extendidos hasta el año 2020, este proceso se realizó para las tres estaciones en estudio.

**Tabla 32***Registro de datos de precipitación para la estación Calca.*

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1963												62.5
1964	74.5	74	94	27	2	0	0	5	19	24.5	41	37.5
1965	106	18.5	92	31	3	0	0	0	14.5	27	32	145
1966	71	140.5	53.4	8.1	32.4	0	0	0	40	78.6	103.9	39
1967	62	67.5	106	26.3	3.5	3	22	13	34	62.2	70	114
1968	105.5	124	76.5	10	0	5	38.5	8.7	11	24.5	69.8	56.1
1969	99	32.5	55	11.5	0	5.5	10	4.5	10	14	74.3	77.8
1970	104	98.3	108.5	45.3	3	0	2	2	14	19.5	54	
1971	100.3	119.2	100.1	21	0	0	0	3	24	19.5	29.6	84.8
1972	132.3	52.5	95.2	27	0	0	2	15.2	31.1	0	43	68.6
1973	152.8	26.6	50.4	14.3	7.2	0	2	0	0	3.6	2	89.5
1974	130.2	127.2	121.2	56.2	1	20.2	2	50.6	3	32.8	57.4	82.4
1975	112.8	133.2	58.8	60.8	27.6	3	0	2.6	11.2	36	31.4	110.4
1976	92.8	85.8	111.8	63	18.2	9.2	1.8	1.6	20.8	7.6	39	72.5
1977	131.6	113.2	56	65.6	0	0	0	6.6	16.8	47.5	114.2	46.2
1978	101.3	101	45.1	14.6	5.1	0	0	0	1	32.4	41.6	51.4
1979	54	29.4	16	3	0	0	0	0	9			
1980					0	1						
1981			31	46	8	0	0	3	0	21		
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987							0	0	18		90	133
1988	113	97	140.5	64.5	0	0	0	0	0			81
1989	130.9	87	114.1	75	14.2	13.5	0	2		47.5	56	71

1990	118	87.5	59.5	23		28	0	10	6	49	31.5	68
1991	130.2	195	149	51	0	19	0	0	4	48.5	88	77.5
1992	155	68	69	27.2	0	33	0	32.5	0	32	82	63.5
1993	156.5	105.5	51	38	0	6	5	31	7	38	75	112
1994	156	134	102.5	64	3	0	0	0	18	41	32	161.5
1995	65.5	71.5	98	14	2	2	2	0	33	30	52	79
1996	148.5	95.5	62	35.5	5	0	0	14	6	60	61	93
1997		123	121	18	0	0	0	13	12	11	95	91
1998	84	91.5	39.5	17	4	1	0	1	0	42	78	54

**Tabla 33***Registro de datos de precipitación completos y extendidos para la estación Calca.*

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	74.50	74.00	94.00	27.00	2.00	0.00	0.00	5.00	19.00	24.50	41.00	37.50
1965	106.00	18.50	92.00	31.00	3.00	0.00	0.00	0.00	14.50	27.00	32.00	145.00
1966	71.00	140.50	53.40	8.10	32.40	0.00	0.00	0.00	40.00	78.60	103.90	39.00
1967	62.00	67.50	106.00	26.30	3.50	3.00	22.00	13.00	34.00	62.20	70.00	114.00
1968	105.50	124.00	76.50	10.00	0.00	5.00	38.50	8.70	11.00	24.50	69.80	56.10
1969	99.00	32.50	55.00	11.50	0.00	5.50	10.00	4.50	10.00	14.00	74.30	77.80
1970	104.00	98.30	108.50	45.30	3.00	0.00	2.00	2.00	14.00	19.50	54.00	45.62
1971	100.30	119.20	100.10	21.00	0.00	0.00	0.00	3.00	24.00	19.50	29.60	84.80
1972	132.30	52.50	95.20	27.00	0.00	0.00	2.00	15.20	31.10	0.00	43.00	68.60
1973	152.80	26.60	50.40	14.30	7.20	0.00	2.00	0.00	0.00	3.60	2.00	89.50
1974	130.20	127.20	121.20	56.20	1.00	20.20	2.00	50.60	3.00	32.80	57.40	82.40
1975	112.80	133.20	58.80	60.80	27.60	3.00	0.00	2.60	11.20	36.00	31.40	110.40
1976	92.80	85.80	111.80	63.00	18.20	9.20	1.80	1.60	20.80	7.60	39.00	72.50
1977	131.60	113.20	56.00	65.60	0.00	0.00	0.00	6.60	16.80	47.50	114.20	46.20
1978	101.30	101.00	45.10	14.60	5.10	0.00	0.00	0.00	1.00	32.40	41.60	51.40
1979	54.00	29.40	16.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	13.80	57.43	163.79
1980	110.98	90.13	72.67	31.16	0.00	1.00	8.69	19.68	14.09	37.04	69.79	89.40
1981	109.60	118.89	31.00	46.00	8.00	0.00	0.00	3.00	0.00	21.00	18.52	87.23
1982	178.25	136.70	128.13	6.48	13.04	12.53	0.87	10.56	5.71	55.53	79.82	94.00
1983	108.00	51.40	130.47	60.42	10.13	11.89	7.62	10.37	1.98	19.14	57.94	47.25
1984	124.33	59.27	38.28	13.05	5.84	11.18	3.11	8.11	7.97	33.63	79.10	61.55
1985	106.41	137.25	113.24	73.24	3.74	1.02	3.95	20.41	18.78	36.67	75.65	59.41
1986	146.34	76.74	103.82	51.92	3.50	3.96	19.36	13.92	8.95	33.91	95.66	66.44
1987	103.47	126.75	108.04	22.94	10.04	16.09	0.00	0.00	18.00	59.38	90.00	133.00
1988	113.00	97.00	140.50	64.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	78.56	81.00
1989	130.90	87.00	114.10	75.00	14.20	13.50	0.00	2.00	7.12	47.50	56.00	71.00
1990	118.00	87.50	59.50	23.00	0.53	28.00	0.00	10.00	6.00	49.00	31.50	68.00
1991	130.20	195.00	149.00	51.00	0.00	19.00	0.00	0.00	4.00	48.50	88.00	77.50
1992	155.00	68.00	69.00	27.20	0.00	33.00	0.00	32.50	0.00	32.00	82.00	63.50
1993	156.50	105.50	51.00	38.00	0.00	6.00	5.00	31.00	7.00	38.00	75.00	112.00
1994	156.00	134.00	102.50	64.00	3.00	0.00	0.00	0.00	18.00	41.00	32.00	161.50

1995	65.50	71.50	98.00	14.00	2.00	2.00	2.00	0.00	33.00	30.00	52.00	79.00
1996	148.50	95.50	62.00	35.50	5.00	0.00	0.00	14.00	6.00	60.00	61.00	93.00
1997	142.97	123.00	121.00	18.00	0.00	0.00	0.00	13.00	12.00	11.00	95.00	91.00
1998	84.00	91.50	39.50	17.00	4.00	1.00	0.00	1.00	0.00	42.00	78.00	54.00
1999	95.07	124.93	101.16	11.49	9.89	3.30	7.99	0.88	0.90	30.35	0.26	68.79
2000	116.06	78.31	143.97	56.34	2.32	12.27	6.79	12.68	2.42	13.89	48.01	64.10
2001	84.86	66.84	8.57	29.23	19.43	14.49	8.14	24.01	4.94	69.42	72.23	65.16
2002	119.16	86.70	155.36	49.23	3.73	11.17	13.78	14.22	2.02	27.10	88.83	113.81
2003	137.57	106.14	47.19	34.09	15.29	2.95	2.13	10.76	4.44	52.29	95.20	69.78
2004	137.70	40.37	68.61	37.31	3.56	26.34	5.30	30.74	12.83	60.11	51.67	64.83
2005	189.87	135.75	96.82	58.23	16.04	2.89	3.13	17.69	11.67	46.75	76.41	75.54
2006	86.56	111.59	59.23	14.36	6.07	1.19	2.34	2.82	19.24	41.50	26.44	96.58
2007	115.39	105.66	75.27	49.72	11.69	1.73	1.07	3.52	15.67	22.58	49.11	69.50
2008	104.72	22.68	96.91	37.00	8.18	22.66	5.02	27.75	13.24	1.31	52.90	36.00
2009	155.42	88.93	124.91	79.39	3.31	9.94	0.29	11.60	1.05	9.72	24.30	67.01
2010	121.61	119.47	17.14	38.86	0.69	4.14	5.01	7.42	12.19	41.10	67.46	97.02
2011	57.96	162.38	40.74	72.50	9.70	8.10	15.70	18.18	9.97	49.58	41.05	55.34
2012	188.34	95.95	115.07	5.53	7.52	6.38	7.17	3.35	17.72	26.26	25.13	48.78
2013	89.04	103.77	46.37	52.84	14.89	13.49	11.95	0.55	12.76	19.30	29.38	55.67
2014	113.68	20.54	45.89	42.01	12.24	21.70	6.98	16.38	14.01	16.25	17.11	114.21
2015	102.23	94.15	27.60	13.43	7.54	9.70	14.98	17.03	1.47	49.13	53.38	55.12
2016	144.30	41.66	113.88	5.82	12.62	15.37	14.56	12.41	0.80	33.54	50.51	86.47
2017	96.13	54.11	49.76	15.99	10.27	4.09	0.16	9.32	0.12	0.32	62.17	103.12
2018	55.18	88.87	47.91	47.66	21.17	7.86	1.23	12.05	23.68	59.97	31.10	52.89
2019	85.36	131.78	176.53	14.39	10.00	8.56	1.78	13.15	22.97	3.43	71.60	43.16
2020	92.33	156.41	21.99	16.33	13.05	5.67	3.53	18.06	13.06	33.76	75.37	102.92

### 3.10.6 Precipitación Media

La precipitación varía según determinados factores geográficos, espaciales o altitudinales (Villon,2007) delimita que los aparatos de medición pluviográfica registran solamente la lluvia puntual del sector de ubicación del aparato para lo que es necesario conocer la precipitación media del área de estudio usando tres métodos: Promedio aritmético, Polígono de Thiessen e Isoyetas.

Para el presente estudio se utilizó el método de Polígonos de Thiessen e Isoyetas mediante el uso de software de análisis geográfico (ArcGIS), teniendo datos de precipitación promedio debidamente verificadas y validadas por diferentes metodologías en los subcapítulos previos.

La tabla 31 muestra la precipitación promedio anual de las cuencas con comportamiento similar de la cuenca en estudio.

### **Tabla 34**

*Precipitaciones promedio anual.*

<b>Estación</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altura</b>	<b>PP_Anual</b>
<b>Pisac</b>	191262	8514689	2990	596.32
<b>Calca</b>	180373	8524072	2926	533.54
<b>Urubamba</b>	811556	8527858	2850	509.02

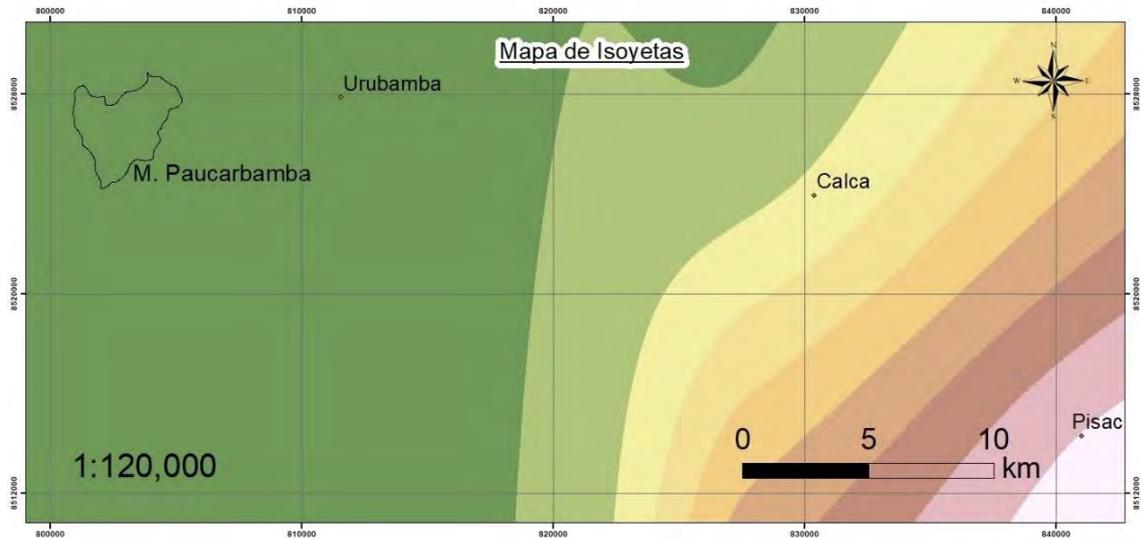
*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

Las estaciones se encuentran a distancias considerables con respecto a la cuenca Paucarbamba siendo la más próxima la estación de Urubamba con 7 km de distancia y la estación de Pisac con 38 km de distancia y al encontrarse dichas estaciones en los poblados en la ribera del río Vilcanota teniendo una geometría lineal que al momento de hacer los análisis geográficos de polígonos de Thiessen e Isoyetas la cuenca Paucarbamba se emplaza dentro del área de influencia de la estación Urubamba por lo que asumiremos el valor de 509.02 mm al año.

Las figuras 64 y 65 muestran el análisis en Arcgis de la cuenca Paucarbamba y las estaciones hidrometeorológicas.

**Figura 74**

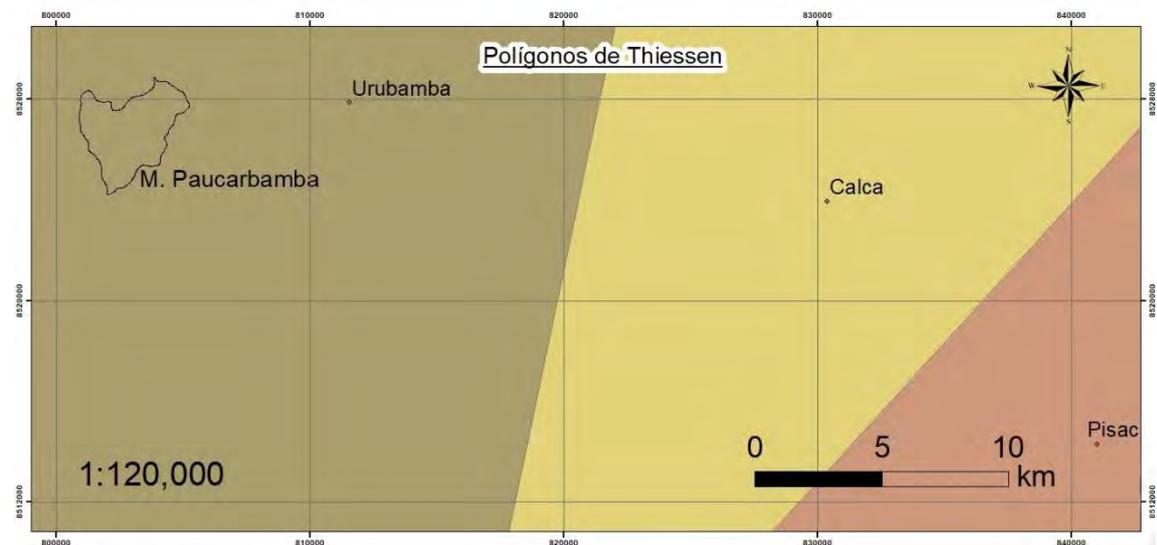
*Mapa de isoyetas para la zona de estudio y estaciones cercanas.*



*Nota. Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 75**

*Mapa de Polígonos de Thiessen zona de estudio y estaciones cercanas.*



*Nota. Fuente: Elaboración Propia.*

### **3.11 HIDROGEOLOGÍA**

#### **3.11.1 INTRODUCCION**

El presente capítulo aborda todo lo que confiere la hidrogeología en la zona de estudio “Cuenca de Paucarbamba”, está estructurado de la siguiente manera, primero se definen los conceptos previos: Acuíferos y su clasificación, capacidad de almacenamiento del acuífero, dentro de la Hidrodinámica del acuífero se definirán ,origen y distribución del agua subterránea , porosidad eficaz o coeficiente de almacenamiento, permeabilidad, dirección de flujo y movimiento de las aguas subterráneas y por último en el acápite de análisis de calidad de agua se definirán hidroquímica, composición y la clasificación de aguas subterráneas.

Culminando los conceptos se dará paso a determinar e indicar los acuíferos y su clasificación, capacidad de almacenamiento de los acuíferos, la hidrodinámica de los acuíferos, origen y distribución del agua subterránea , porosidad eficaz o coeficiente de almacenamiento, permeabilidad, dirección de flujo y movimiento de las aguas subterráneas en la cuenca de Paucarbamba y por último se realizará el análisis de calidad de agua, una evaluación Hidroquímica, composición y la clasificación de agua subterránea.

Este capítulo aporta solidez a la tesis puesto que, el estudio hidrogeológico nos da apertura a un exitoso planteo de exploración y la consecuente explotación de las aguas subterráneas, caracterizando las unidades hidrogeológicas, determinando sus características permeables y determinando la dirección de flujo.

#### **3.11.2 Acuífero**

##### **Zona de estudio**

Los acuíferos, ya definidos como la formación Geológica que posee capacidad de almacenamiento y circular el agua subterránea, están presentes en la Cuenca de Paucarbamba, con la formación Quilque, existiendo intercalación de areniscas gruesas, medias, finas y lutitas, además de poseer fracturas S0 y los depósitos cuaternarios coluvio aluviales en la parte media de la Cuenca, depósitos aluviales en la parte baja de la Cuenca y en la parte alta con la presencia de la Formación Rumicolca fracturada por enfriamiento de la colada por el fenómeno distensivo en el proceso de enfriamiento.

### 3.11.3 Clasificación de Acuíferos

#### Zona de estudio

En la Cuenca identificamos las unidades Hidrogeológicas y las clasificamos de la siguiente manera:

- Acuíferos: Areniscas Finas, medias y gruesas con Conglomerados -*Formación Quilque, Depósitos Cuaternarios Coluvio Aluviales, Depósitos Aluviales y Formación Rumicolca.*
- Acuitardos: Estratos de lutita con tenue fracturamiento- *Formación Maras y Formación San Sebastián* por la intercalación de Limos, Arcillas y Arenas.
- Acuicludos, No se identificó dicha unidad hidrogeológica.
- Acuífugos, No se identificó dicha unidad hidrogeológica, estimamos que se encuentra en el basamento de la Cuenca.

Desde el punto de vista del tipo de porosidad, tenemos:

#### a. Acuíferos de porosidad primaria o poroso:

Estos depósitos están formados por formaciones geológicas que tienen su origen en procesos sedimentarios. Los materiales que los componen suelen ser gravas y, principalmente, arenas, cuya composición y tamaño varían según su origen geológico (fluvial, eólico, lacustre, glacial, etc.). Estos materiales pueden encontrarse en estado no consolidado (generalmente corresponden a formaciones recientes, de edad cuaternaria) o, en su defecto, estar consolidados. (Fig. 76). (Collazo Caraballo & Montaña Xavier , 2012)

#### **Figura 76**

*Acuífero Poroso*



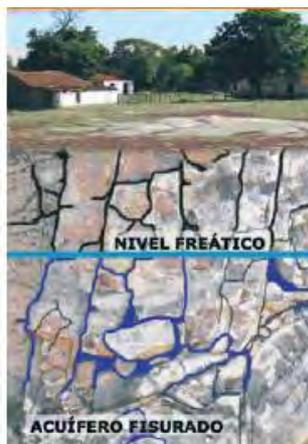
Fuente: (Collazo Caraballo & Montaña Xavier , 2012)

b. Acuíferos de porosidad secundaria o fisurado:

Estos acuíferos están compuestos por rocas ígneas o metamórficas de naturaleza "dura". La porosidad en estos acuíferos se presenta debido a la existencia de zonas de alteración, fracturas, fallas o diaclasas, que son los únicos medios por los cuales el agua puede almacenarse y fluir. Es importante tener en cuenta que para que el agua pueda fluir, estas fracturas deben estar abiertas e interconectadas. (Fig. 77). (Collazo Caraballo & Montaña Xavier , 2012)

**Figura 77**

*Acuífero Fisurado*



Fuente: (Collazo Caraballo & Montaña Xavier , 2012)

c. Acuíferos kársticos por disolución:

Estos acuíferos están formados por rocas carbonáticas como calizas, margas y dolomías, donde la porosidad se desarrolla debido a la disolución del carbonato. En estos acuíferos, el agua circula a través de las cavidades y cavernas del karst a una velocidad mayor que en los acuíferos porosos o fracturados. (Fig. 78). (Collazo Caraballo & Montaña Xavier , 2012)

**Figura 78**

*Acuífero Karstico*



Fuente: (Collazo Caraballo & Montaña Xavier , 2012)

### Zona de estudio:

En la zona de estudio se cuenta con las siguientes características:

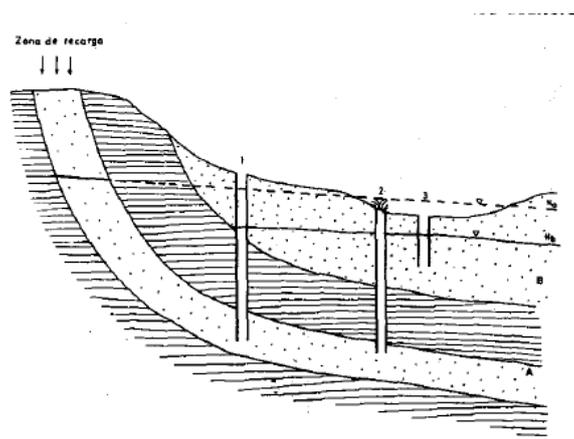
- Acuíferos de porosidad primaria o poroso: Areniscas de la Formación Quilque, producto de su génesis intrínseca a su deposición.
- Acuíferos de porosidad secundaria o fisurado: Areniscas de Formación Quilque S0(A través de su estratificación) Formación Rumicolca (fracturas distensivas)
- Acuíferos kársticos por disolución: En este caso la formación Maras por la intercalación caótica de lutitas, yesos (bloques de yesos fracturados) y bloques de calizas

### 3.11.4 Tipos de acuíferos

Figura 79

*Tipos de Acuíferos en sección ilustrativa*

FIGURA 5.2  
Tipos de acuíferos.  
A) Acuífero cautivo, confinado o a presión  
B) Acuífero libre, no confinado o freático  
N<sub>a</sub>) Nivel piezométrico del acuífero cautivo  
N<sub>b</sub>) Nivel piezométrico del acuífero libre  
1) Pozo en un acuífero cautivo no surgente  
2) Pozo en un acuífero cautivo surgente  
3) Pozo en un acuífero libre.



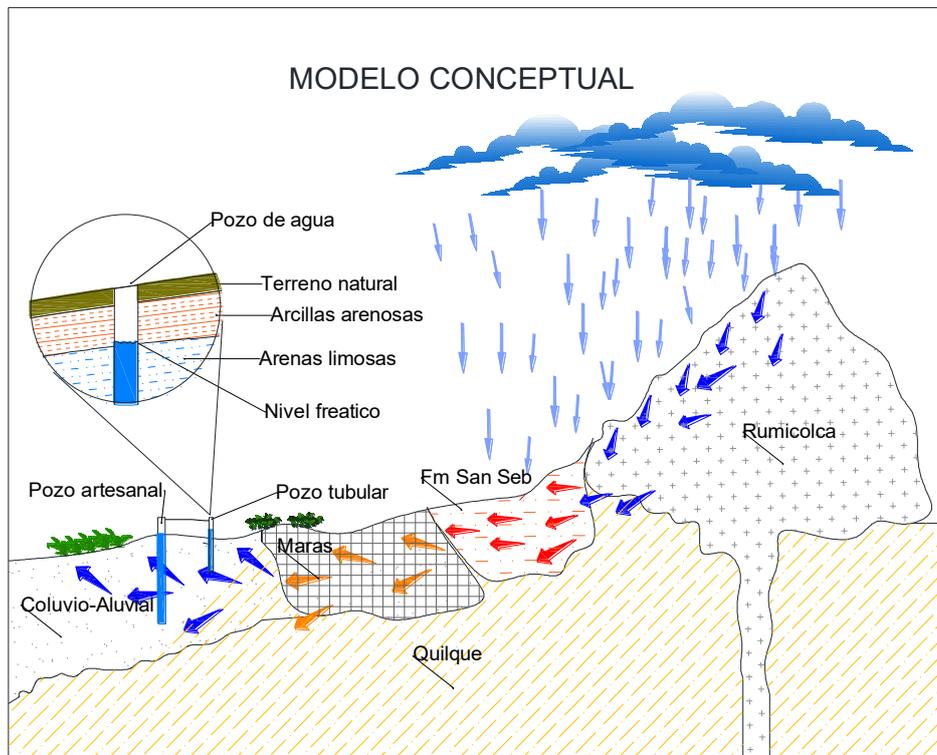
Fuente: (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1983)

### Zona de estudio

Se identificó en base a esta clasificación:

Acuíferos libres, no confinados o freáticos:

Se muestra a continuación el modelo conceptual específico que demuestra la presencia de Acuíferos No confinados o Libres.

**Figura 80***Modelo Conceptual*

### 3.11.5 Capacidad o coeficiente de almacenamiento del acuífero

La capacidad de almacenamiento se refiere a la capacidad de transmitir y liberar grandes cantidades de agua, lo cual depende de tener una baja resistencia o una alta permeabilidad para que pueda fluir de manera adecuada. (Pinder & Celia, 2006)

### 3.11.6 Concepciones de Porosidad

Porosidad, en términos precisos es la relación existente entre el volumen de poros o volumen de huecos rellenos de agua ( $V_p$ ) y el volumen total de una roca ( $V_t$ ). (Werner, 1996)

$$n = \frac{V_p}{V_t}$$

La porosidad de un material se define como la proporción entre el volumen de espacio vacío o lleno de aire y/o agua y el volumen total del material. Si se toma un volumen específico de

una muestra de roca o suelo, se puede distinguir la cantidad de espacio poroso presente en relación con el volumen total. (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1983)

- a) Volumen de la parte sólida ( $V_s$ )
- b) Volumen de, huecos ( $V_v$ )
- c) Volumen total ( $V_t = V_v + V_s$ )

En este supuesto la porosidad sería

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

### Notas

- Es un parámetro adimensional y depende únicamente de la constitución de la roca o suelo, es decir, de sus propiedades como su textura característica.
- Se expresa en porcentajes, en rocas muy compactas suele ser inferior a 1% y en el caso de depósitos no compactos de grano fino alcanzan el 50%.

### Observación:

Es importante tener presente que las partículas sólidas de la estructura del acuífero retienen una cantidad de agua fuertemente adherida a la superficie de las paredes de ellas, **agua higroscópica**; además en los poros pequeños se retiene otra parte del agua por tensión superficial, el **agua capilar**; en definitiva, los poros se ven reducidos para la libre circulación del agua subterránea.

#### 3.11.7 Porosidad efectiva:

El agua adsorptiva no participa en el flujo del agua subterránea por el acuífero. Por eso en el estudio del flujo de aguas subterráneas es más idóneo utilizar el concepto de la *porosidad efectiva*  $p_e$  o  $p''$  (o denominado también  $n_c$ ), que es definida como la relación entre el volumen del agua que fluye, agua gravífica  $V_{ag}$ , y el volumen total de la roca, así limitando a la cantidad de agua adsorptiva en la estructura de los sólidos del acuífero. (Werner, 1996)

$$P_e = \frac{V_{ag}}{V_t}$$

$$V_{ag} = V_{p\text{total}} - V_{p\text{adsorptiva}}$$

$P_e$  la Porosidad efectiva también es denominada **porosidad drenable**.

En estudios del movimiento del agua subterránea sólo importan los poros interconectados pues por estos poros circula el agua. Así nace el concepto de porosidad eficaz,  $P_e$ , que tiene

en cuenta el volumen de esos poros  $V_{ag}$ , respecto al volumen total del terreno natural considerado según (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1983)

$$P_e = \frac{V_{ag}}{V_t}$$

### Notas

- Al igual que la porosidad, es un parámetro adimensional.

### Observación:

- Una arcilla que tiene una cantidad considerable porosidad alta, sin embargo, la porosidad efectiva muy pequeña. Indicando poder albergar grandes cantidades de volúmenes de agua ésta no puede circular por el medio geológico.

### 3.11.8 Porosidad Eficaz o Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento  $S$  es definido como el volumen de agua por unidad de superficie del acuífero, que se extrae o almacena en éste bajo un cambio unitario de potencial hidráulico. Para acuíferos no confinados, las reacciones elásticas del acuífero son despreciables. Por eso  $S$  se puede sustituir por el rendimiento específico  $S_y$ :

$$S_y = \frac{V_A \text{ extraída por gravedad}}{V_{\text{acuífero}}}$$

$S_y$  entonces corresponde a  $P_e$ . Sin embargo hay que tomar en cuenta, que el drenaje del agua de los poros a causa de la gravedad (p.ej. en un cono de abatimiento de un pozo realizado) es un proceso que necesita un tiempo, de manera que  $S_y$  determinado en ensayos de bombeo normalmente resulta más pequeño que la constante  $P_e$ . En acuíferos confinados  $S$  se basa exclusivamente en las reacciones elásticas del acuífero (agua + roca). Por eso en este caso el coeficiente de almacenamiento no tiene casi nada que ver con la porosidad. (Werner, 1996)

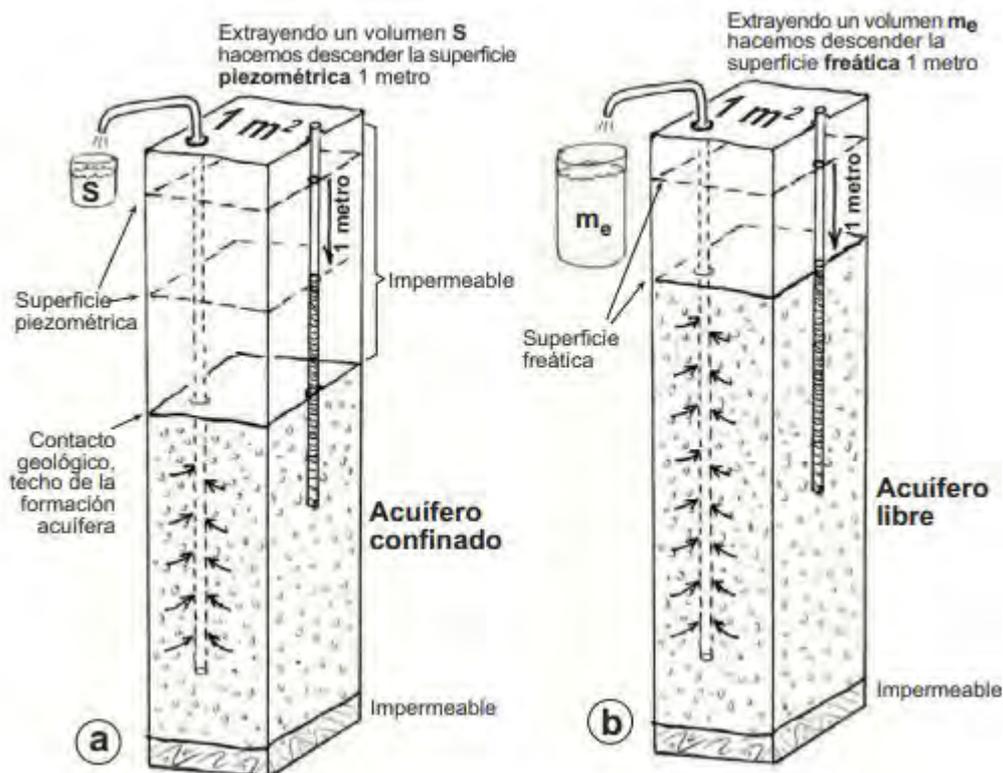
Este coeficiente de almacenamiento  $S$  representa la capacidad para liberar agua de un acuífero. Se define como el volumen de agua que es capaz de liberar un prisma de base unitaria y de altura la del acuífero, cuando desciende 1m el nivel piezométrico. Es, en consecuencia, un parámetro

físico referido al volumen cedido por unidad de volumen de acuífero y al igual que la porosidad, es adimensional.

La forma en que las formaciones geológicas permeables liberan agua es particularmente distinta según sus condiciones en la naturaleza y el estado de sus niveles piezométricos. Por lo tanto, cabe distinguir formaciones o acuíferos en funcionamiento confinado o acuíferos en funcionamiento libre.

### Figura 81

*Coefficiente de Almacenamiento en Acuífero Confinado y Acuífero Libre*



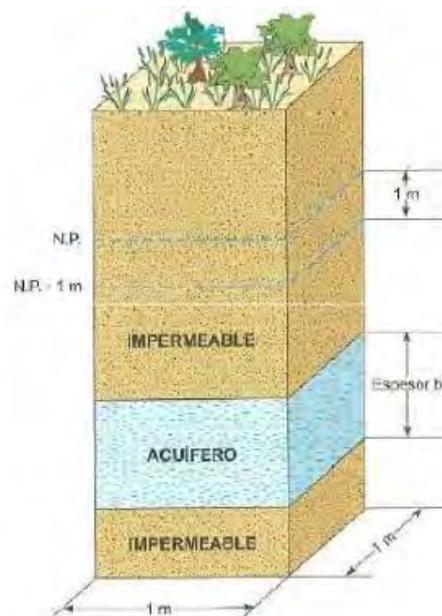
Fuente: (Sánchez San Román, 2012)

### Nota:

- Obsérvese la figura 27 en la parte izquierda (a) se ve una columna de 1 m<sup>2</sup> de base de un acuífero confinado en la que el nivel piezométrico bajó 1 m, el volumen pequeño obtenido es  $S$ , del mismo modo en la parte derecha con el acuífero libre hay un descenso del nivel

piezométrico, sin embargo, el volumen de agua obtenido es la porosidad eficaz definida como me.

- En el acuífero libre, sólo aporta agua (por vaciado) el m<sup>3</sup> superior, entre las dos posiciones sucesivas de la superficie freática.
- En el acuífero confinado aporta agua (por liberación de la compresión) toda la columna vertical de acuífero; por lo tanto, su magnitud depende del espesor geológico del acuífero.



Volumen de agua que es liberado por un prisma de sección unitaria y altura igual al nivel piezométrico cuando éste sufre variación de 1 m, en líneas generales.

### 3.11.9 Origen y distribución del agua subterránea

#### Zona de Estudio

El origen del agua Subterránea en la Cuenca Paucarbamba es producto de las precipitaciones que recargan los acuíferos, Formación Rumicolca, Formación Quilque y los depósitos Coluvio Aluviales y Aluviales, circulando también el agua por formaciones de característica Acuitarda, Formación San Sebastián y Formación Maras, el origen son las precipitaciones en la Cuenca, la ocurrencia se dan en Manantes que afloran en la parte Media-Alta de la Cuenca, principalmente en el eje de la quebrada Media-Alta, donde yacen depósitos coluvio Aluviales

de excelente composición Litológica por recepcionar aportes de las formaciones contiguas, Rumicolca, Quilque, Maras y Formación San Sebastián.

### **3.11.10 Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K)**

La manera como esos poros están intercomunicados entre sí define lo que se denomina *permeabilidad o conductividad hidráulica*, que mide la "facilidad" del agua para circular por la formación geológica. Lo mencionado significa que un material puede tener porosidad muy alta (Arcillas) y sin embargo su permeabilidad ser nula, ya que los poros no están intercomunicados. ( Vélez Otálvaro, 1999).

#### **Nota:**

- Si bien tiene unidades de velocidad, no representa la velocidad con que el agua se traslada en el medio poroso, en contraste representa el caudal Q que pasa por una sección unitaria cuando desciende el nivel piezométrico una unidad (por unidad de longitud recorrida)

### **3.11.11 Factores que determinan la permeabilidad**

Los factores que determinan la permeabilidad están relacionados a características intrínsecas y extrínsecas.

Los intrínsecos son los propios del acuífero y dependen fundamentalmente del tamaño de los poros. Así vemos que dos acuíferos que estuvieran formados por sólidos de 0,1 m y  $10^{-3}$ m, pueden tener igual porosidad, pero la diferencia radica en su permeabilidad: Si el resto de condiciones se mantiene, siempre tendrá mayor permeabilidad el sustrato que tenga mayor diámetro de las partículas.

Por otro lado, los factores extrínsecos dependen del fluido y están principalmente influenciados por la viscosidad y el peso específico del líquido. La viscosidad de un fluido mide la resistencia por unidad de área y por unidad de gradiente de velocidad transversal al movimiento del fluido. Tanto la viscosidad como el peso específico varían con la temperatura, lo que debe ser considerado, especialmente por la influencia significativa de la viscosidad en la permeabilidad (Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, 1983).

#### **Zona de estudio:**

Para identificar las propiedades Se realizaron pruebas de infiltración en las formaciones implicadas en la cuenca de Paucarbamba, se muestran las siguientes tablas:

### 3.11.12 Permeabilidades medidas

**Formación Geol:** Fm Maras

**Coordenadas UTM:**

804066 E  
8526171 N  
3396 msnm

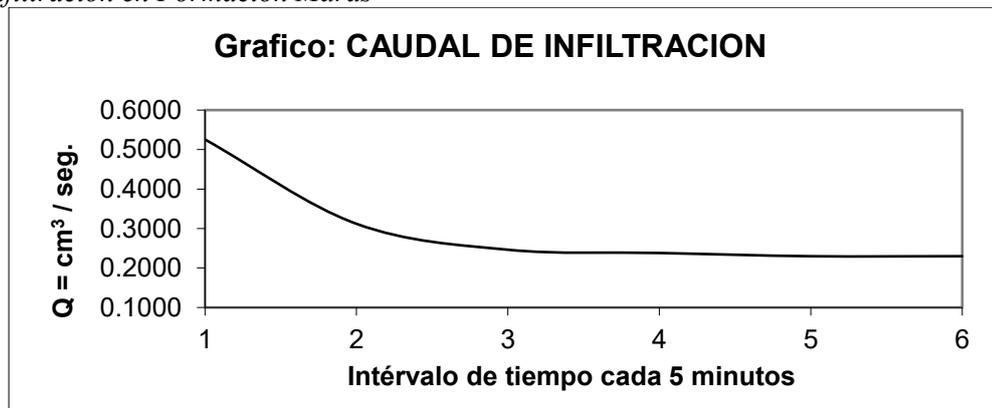
**Tabla 35**

*Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Maras*

	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	$V=AxDesc$ cm <sup>3</sup>	Q (infil) cm <sup>3</sup> /seg	Q (infil) lt/seg	K cm/seg	K m/dia
1	5	6.4	157.63	0.5254	0.0005	0.0213	18.43
2	5	3.8	93.59	0.3120	0.0003	0.0127	10.94
3	5	3.0	73.89	0.2463	0.0002	0.0100	8.64
4	5	2.9	71.43	0.2381	0.0002	0.0097	8.35
5	5	2.8	68.96	0.2299	0.0002	0.0093	8.06
6	5	2.8	68.96	0.2299	0.0002	0.0093	8.06

**Figura 82**

*Caudal de Infiltración en Formación Maras*



**Form. Geol.:** Fm Maras

**Coordenadas UTM:**

804059 E  
8526160 N  
3392 msnm

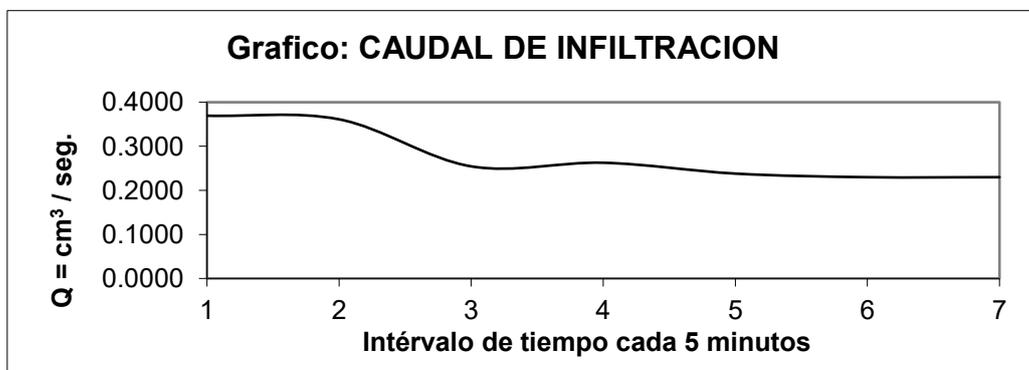
**Tabla 36**

*Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Maras*

	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	V=AxDesc cm <sup>3</sup>	Q (infil) cm <sup>3</sup> /seg	Q (infil) lt/seg	K cm/seg	K m/día
1	5	4.5	110.84	0.3695	0.0004	0.0150	12.96
2	5	4.4	108.37	0.3612	0.0004	0.0147	12.67
3	5	3.1	76.35	0.2545	0.0003	0.0103	8.93
4	5	3.2	78.82	0.2627	0.0003	0.0107	9.22
5	5	2.9	71.43	0.2381	0.0002	0.0097	8.35
6	5	2.8	68.96	0.2299	0.0002	0.0093	8.06
7	5	2.8	68.96	0.2299	0.0002	0.0093	8.06

**Figura 83**

*Caudal de infiltración en la Formación Maras*



**Form. Geol.:** Fm Maras (Bloque de yeso)

**Coordenadas UTM:**

804045

E

8526041

N

3400

msnm

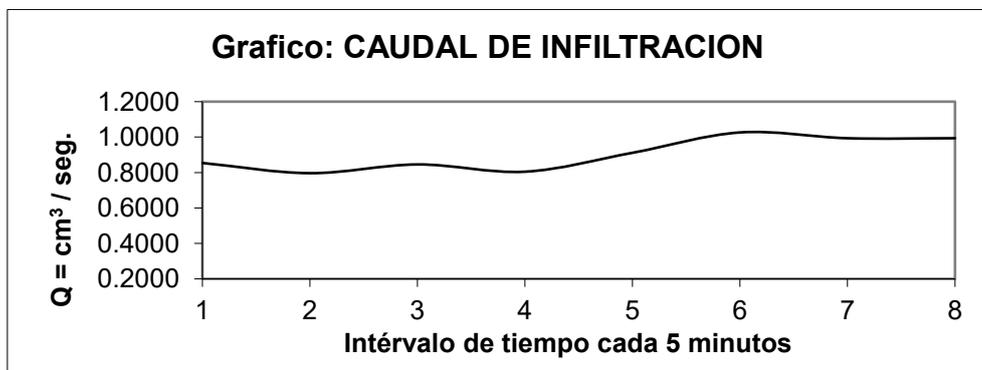
**Tabla 37**

*Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Maras(Bloque de Yeso)*

	Interv. Tiempo	Descenso	$V=A \times Desc$	Q (infil)	Q (infil)	K	K
	min.	cm.	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> /seg	lt/seg	cm/seg	m/día
1	5	10.4	256.15	0.8538	0.0009	0.0347	29.95
2	5	9.7	238.91	0.7964	0.0008	0.0323	27.94
3	5	10.3	253.69	0.8456	0.0008	0.0343	29.66
4	5	9.8	241.37	0.8046	0.0008	0.0327	28.22
5	5	11.1	273.39	0.9113	0.0009	0.0370	31.97
6	5	12.5	307.88	1.0263	0.0010	0.0417	36.00
7	5	12.1	298.02	0.9934	0.0010	0.0403	34.85
8	5	12.1	298.02	0.9934	0.0010	0.0403	34.85

**Figura 84**

*Caudal de Infiltración en Bloque Yeso Fracturado*



**Form. Geol.:** Fm Quilque

**Coordenadas UTM:**

803881 E  
8525971 N  
3388 msnm

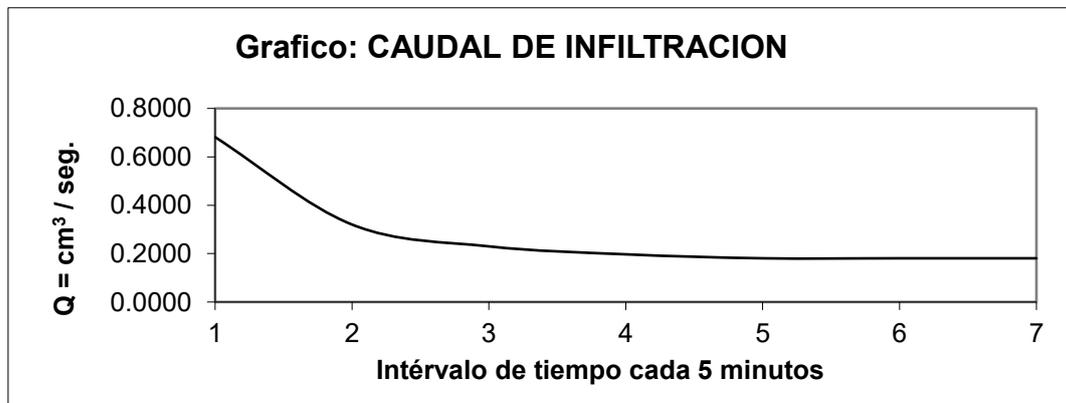
**Tabla 38**

*Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Quilque*

Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	V=AxDesc cm <sup>3</sup>	Q (infil) cm <sup>3</sup> /seg	Q (infil) lt/seg	K cm/seg	K m/dia
1	5	8.3	204.43	0.6814	0.0007	23.90
2	5	3.9	96.06	0.3202	0.0003	11.23
3	5	2.8	68.96	0.2299	0.0002	8.06
4	5	2.4	59.11	0.1970	0.0002	6.91
5	5	2.2	54.19	0.1806	0.0002	6.34
6	5	2.2	54.19	0.1806	0.0002	6.34
7	5	2.2	54.19	0.1806	0.0002	6.34

**Figura 85**

*Caudal de Infiltración en prueba a Fm Quilque*



**Form. Geol.:** Fm Quilque

**Coordenadas UTM:**

803881 E  
8525954 N  
3388 msnm

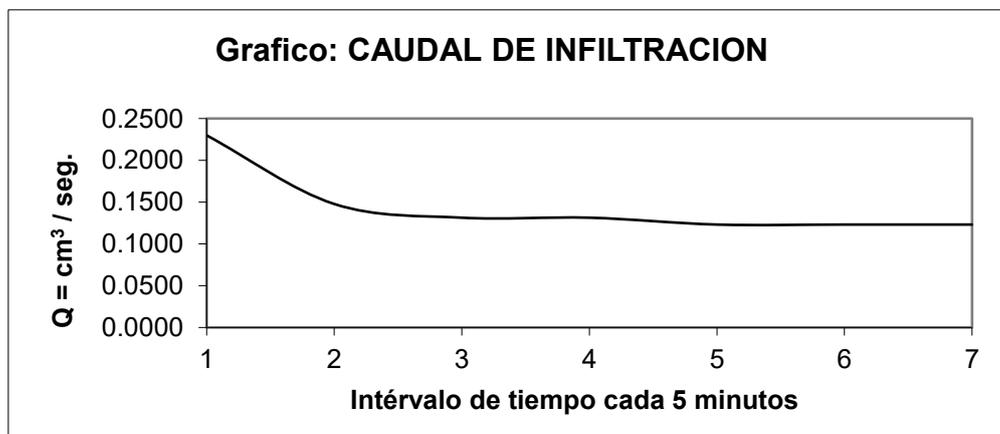
**Tabla 39**

*Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Quilque*

	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	V=AxDesc cm <sup>3</sup>	Q (infil) cm <sup>3</sup> /seg	Q (infil) lt/seg	K cm/seg	K m/día
1	5	2.8	68.96	0.2299	0.0002	0.0093	8.06
2	5	1.8	44.33	0.1478	0.0001	0.0060	5.18
3	5	1.6	39.41	0.1314	0.0001	0.0053	4.61
4	5	1.6	39.41	0.1314	0.0001	0.0053	4.61
5	5	1.5	36.95	0.1232	0.0001	0.0050	4.32
6	5	1.5	36.95	0.1232	0.0001	0.0050	4.32
7	5	1.5	36.95	0.1232	0.0001	0.0050	4.32

**Figura 86**

*Caudal de Infiltración en Formación Quilque*



**Form. Geol.:** Fm Quilque

**Coordenadas UTM:**

803931 E  
8526353 N  
3312 msnm

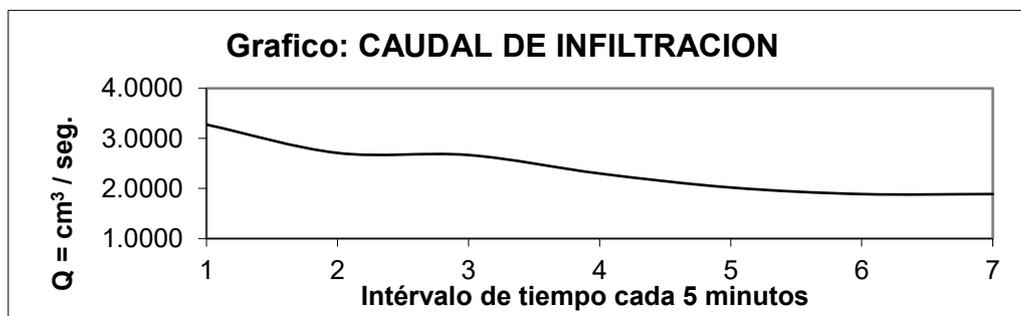
**Tabla 40**

*Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en la Formación Quilque*

	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	V=AxDesc cm <sup>3</sup>	Q (infil) cm <sup>3</sup> /seg	Q (infil) lt/seg	K cm/seg	K m/día
1	5	39.9	982.74	3.2758	0.0033	0.1330	114.91
2	5	33.0	812.79	2.7093	0.0027	0.1100	95.04
3	5	32.5	800.48	2.6683	0.0027	0.1083	93.60
4	5	28.0	689.64	2.2988	0.0023	0.0933	80.64
5	5	24.6	605.90	2.0197	0.0020	0.0820	70.85
6	5	23.0	566.49	1.8883	0.0019	0.0767	66.24
7	5	23.0	566.49	1.8883	0.0019	0.0767	66.24

**Figura 87**

*Caudal de Infiltración realizada en la Fm Quilque*



**Formación Geológica.:** Fm San Sebastián Q

**Coordenadas UTM:**

803108 E

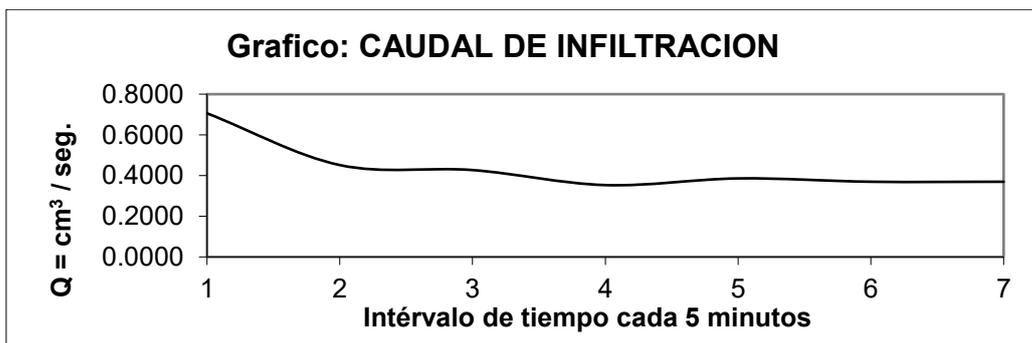
8525656 N

3568 msnm

¡Error! Vínculo no válido.

**Figura 88**

*Caudal de Infiltración obtenida de ensayo realizado en la Fm San Sebastián*



**Form. Geol.:** Fm San Sebastián Q

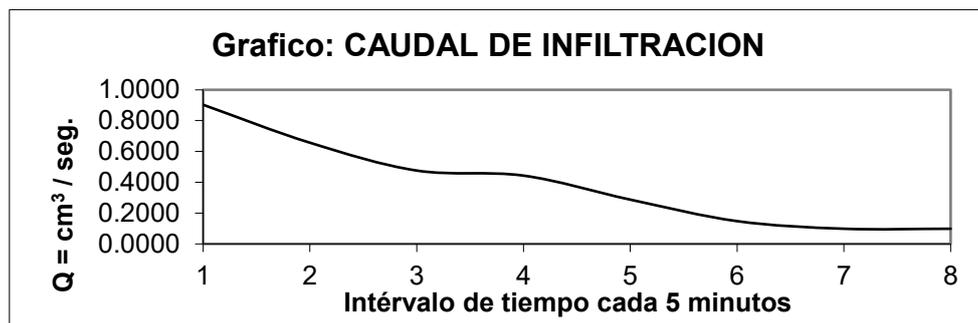
**Coordenadas UTM:**

803189 E  
8525670 N  
3566 msnm

¡Error! Vínculo no válido.

**Figura 89**

*Caudal de Infiltración en la Formación San Sebastián*



**Form. Geol.:** Aluvial-coluvial

**Coordenadas UTM:**

803961 E  
8526098 N  
3347 msnm

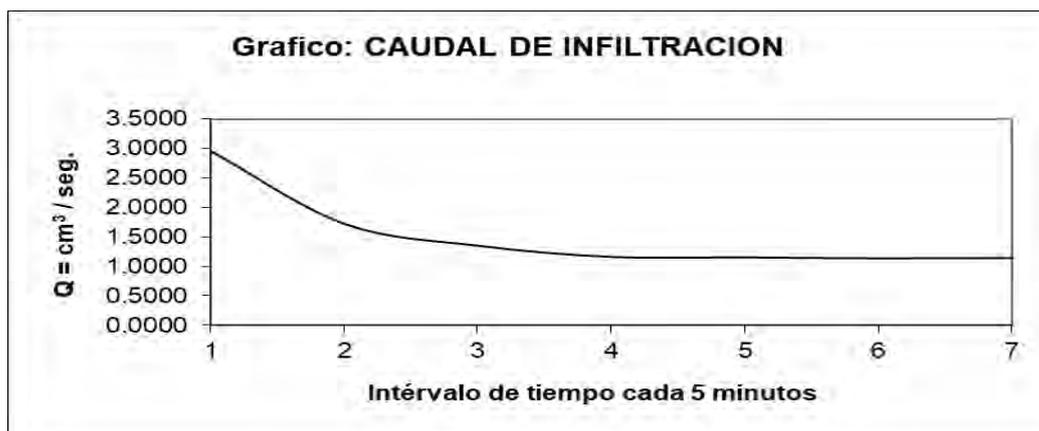
**Tabla 41**

*Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en Depósito Aluvial Coluvial*

	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	$V=AxDesc$ cm <sup>3</sup>	Q (infil) cm <sup>3</sup> /seg	Q (infil) lt/seg	K cm/seg	K m/día
1	5	36.0	886.68	2.9556	0.0030	0.1200	103.68
2	5	21.0	517.23	1.7241	0.0017	0.0700	60.48
3	5	16.5	406.40	1.3547	0.0014	0.0550	47.52
4	5	14.2	349.75	1.1658	0.0012	0.0473	40.90
5	5	14.1	347.28	1.1576	0.0012	0.0470	40.61
6	5	14.0	344.82	1.1494	0.0011	0.0467	40.32
7	5	14.0	344.82	1.1494	0.0011	0.0467	40.32

**Figura 90**

*Caudal de Infiltración de la Formación San Sebastián*



**Form. Geol.:** Aluvial-coluvial

**Coordenadas UTM:**

803971 E  
8526032 N  
3350 msnm

**Tabla 42**

*Datos obtenidos de ensayo de permeabilidad en los depósitos cuaternarios*

	Interv. Tiempo min.	Descenso cm.	V=AxDesc cm <sup>3</sup>	Q (infil) cm <sup>3</sup> /seg	Q (infil) lt/seg	K cm/seg	K m/día
1	5	38.9	958.11	3.1937	0.0032	0.1297	112.03
2	5	36.7	903.92	3.0131	0.0030	0.1223	105.70
3	5	37.2	916.24	3.0541	0.0031	0.1240	107.14
4	5	36.7	903.92	3.0131	0.0030	0.1223	105.70
5	5	31.0	763.53	2.5451	0.0025	0.1033	89.28
6	5	30.3	746.29	2.4876	0.0025	0.1010	87.26
7	5	30.4	748.75	2.4958	0.0025	0.1013	87.55
8	5	30.4	748.75	2.4958	0.0025	0.1013	87.55

**Figura 91**

*Caudal de Infiltración en depósitos Cuaternarios*

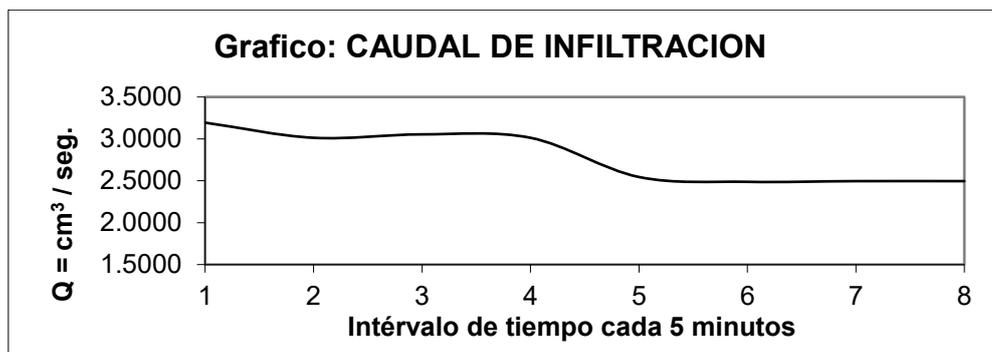


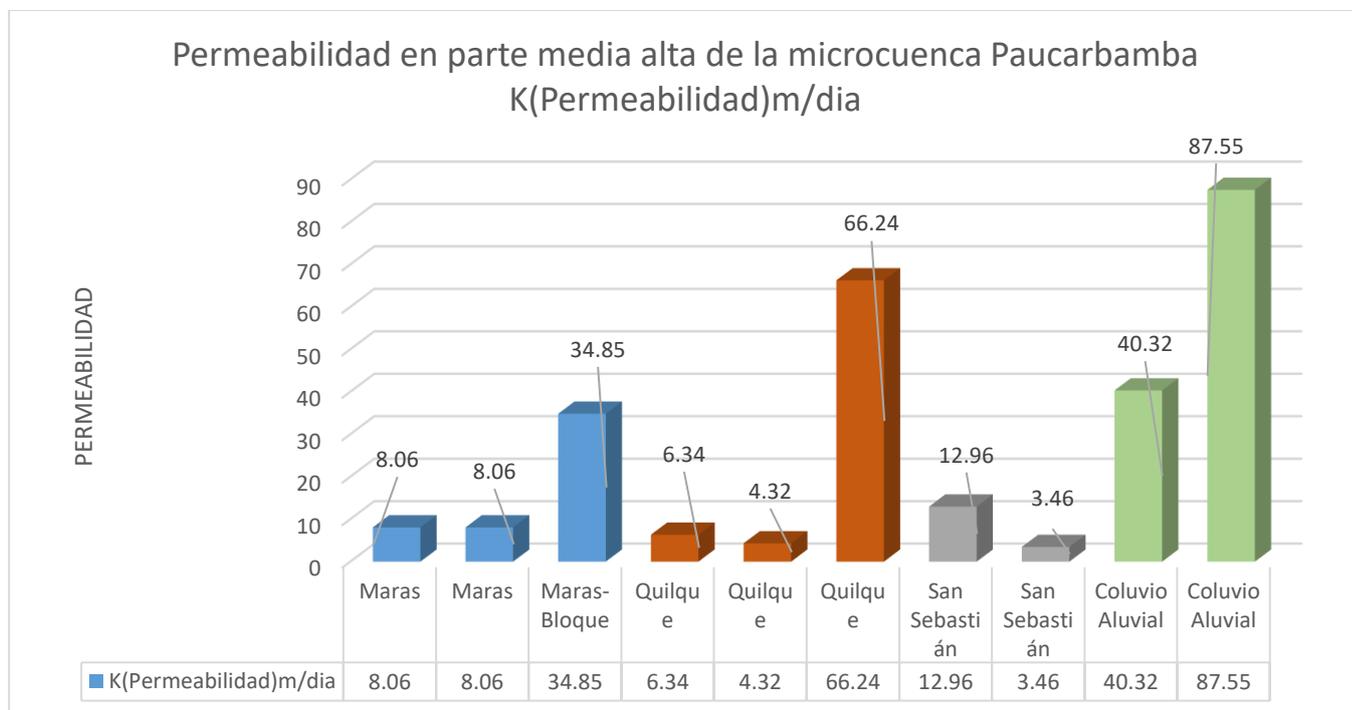
Tabla 43

Resumen de Permeabilidades por cada Formación

<b>Cuadro Resumen de Permeabilidades</b>		
Formación	K(Permeabilidad)m/dia	K prom
Maras	8.06	8.06
Maras	8.06	
Maras-Bloque	34.85	34.85
Quilque	6.34	25.63
Quilque	4.32	
Quilque	66.24	
San Sebastián	12.96	8.21
San Sebastián	3.46	
Coluvio Aluvial	40.32	63.935
Coluvio Aluvial	87.55	

Figura 92

Permeabilidad en diagrama de Barras

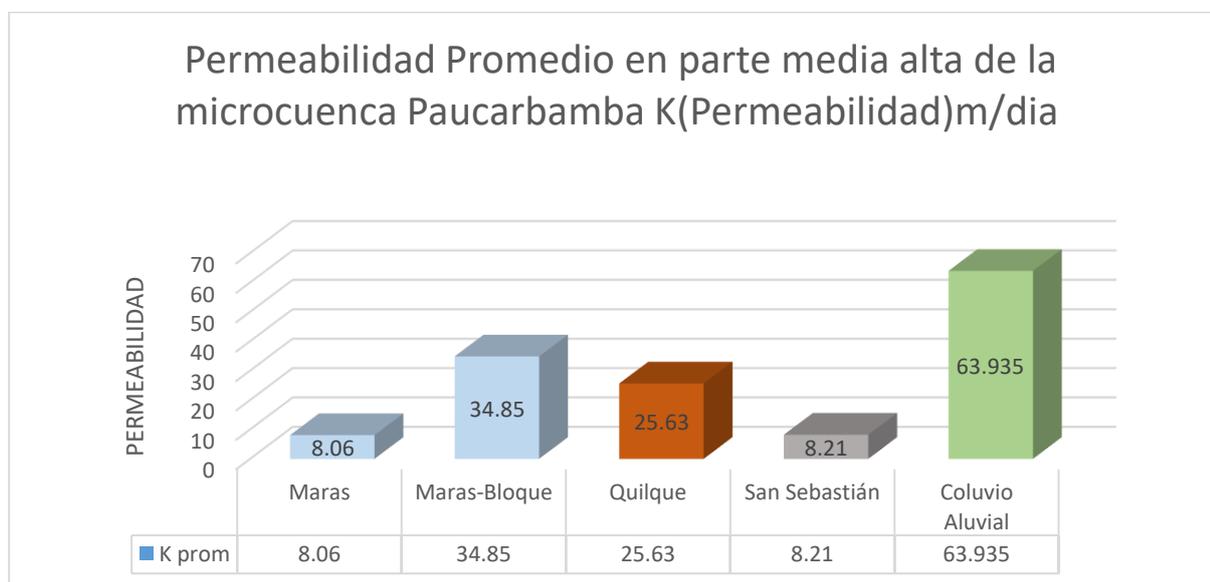


*Nota:* El diagrama de barras de la permeabilidad de las formaciones presentes en la parte media alta de la cuenca Paucarbamba, evidencia las permeabilidades más altas en los ensayos de la

formación coluvio aluvial 87.55 m/día, la formación Maras representa 8.06 m/día y en los bloques de yeso 34.85 m/día incrementando la permeabilidad en esta formación a causa de las fracturas que estos bloques poseen, en lo que refiere a la formación Quilque 6.34 y 4.32 m/día fueron ensayos realizados en los estratos de composición más fina, lutitas, y el valor de permeabilidad 66.24 m/día representa un ensayo hecho en el estrato de arenisca que representa un valor mayor por la porosidad y permeabilidad que las caracteriza.

**Figura 93**

*Permeabilidad Promedio Formaciones Parte Media Alta de Cuenca Paucarbamba*



*Nota:* En lo que refiere a las permeabilidades promedio en la parte media alta de la cuenca de Paucarbamba, se observa en la figura 86 que, los depósitos coluvio aluviales con 63.935 m/día representan la permeabilidad más alta en la zona, seguido de formación Quilque con 25.63 m/día, seguidamente formación San Sebastián con 8.21 m/día y por último la formación Maras con 8.06 m/día de permeabilidad.

En lo que respecta al bloque de yeso fracturado en la formación Maras alcanzó una permeabilidad de 34.85 m/día,

### **3.11.13 Movimiento de agua subterránea y dirección de flujo**

El desplazamiento del agua subterránea está principalmente influenciado por su energía potencial y el gradiente hidráulico. La estructura elemental de los sistemas de flujo se deriva del concepto de continuidad hidráulica en una cuenca unitaria, donde se identifican tres zonas distintas: una zona de recarga con flujo descendente, una zona de tránsito con flujo horizontal y una zona de descarga con flujo ascendente. Estas tres áreas son fundamentales en el flujo subterráneo. (Tóth, 1995).

#### **Zona de recarga**

Reúnen una serie de factores que propician la infiltración de agua hasta alcanzar el agua subterránea, el nivel piezométrico relativamente alto y decrece con la profundidad, de modo que existe un flujo vertical descendente y divergente, y el nivel freático es profundo (Tóth, 2000; Peñuela–Arévalo, 2007).

#### **Zona de tránsito**

Es una parte intermedia donde se produce la circulación del agua desde la zona de recarga hasta la de descarga, la altura piezométrica apenas varía con la profundidad, las isopiezas son prácticamente verticales y el flujo es predominantemente horizontal (Tóth, 2000; Peñuela–Arévalo, 2007).

### **3.11.14 Zona de descarga**

Es donde el valor del nivel piezométrico aumenta con la profundidad y el flujo es vertical ascendente y convergente, en casos emergiendo del subsuelo, contribuyendo junto con el agua de escorrentía (exceso de lluvia) a la formación de fuentes superficiales de agua (manantiales, lagos, flujo base de ríos, lagunas costeras), (Tóth,2000; Peñuela–Arévalo, 2007).

### 3.11.15 Transmisividad

$$T = K * b \dots \left(\frac{m^2}{día}\right)$$

T= Transmisividad (m<sup>2</sup>/día)

K= Permeabilidad (m/día)

b= Ancho del Acuífero (m)

#### Zona de Estudio

En la Zona de estudio, parte media alta de la cuenca Paucarbamba, para realizar el correspondiente análisis de transmisividad de las unidades hidrogeológicas presentes en la parte media alta cuenca de Paucarbamba, se necesita de dos datos importantes, el ancho de saturación y la permeabilidad de las formaciones en referencia, así se logrará calcular la transmisividad y realizar el respectivo análisis de transmisividades.

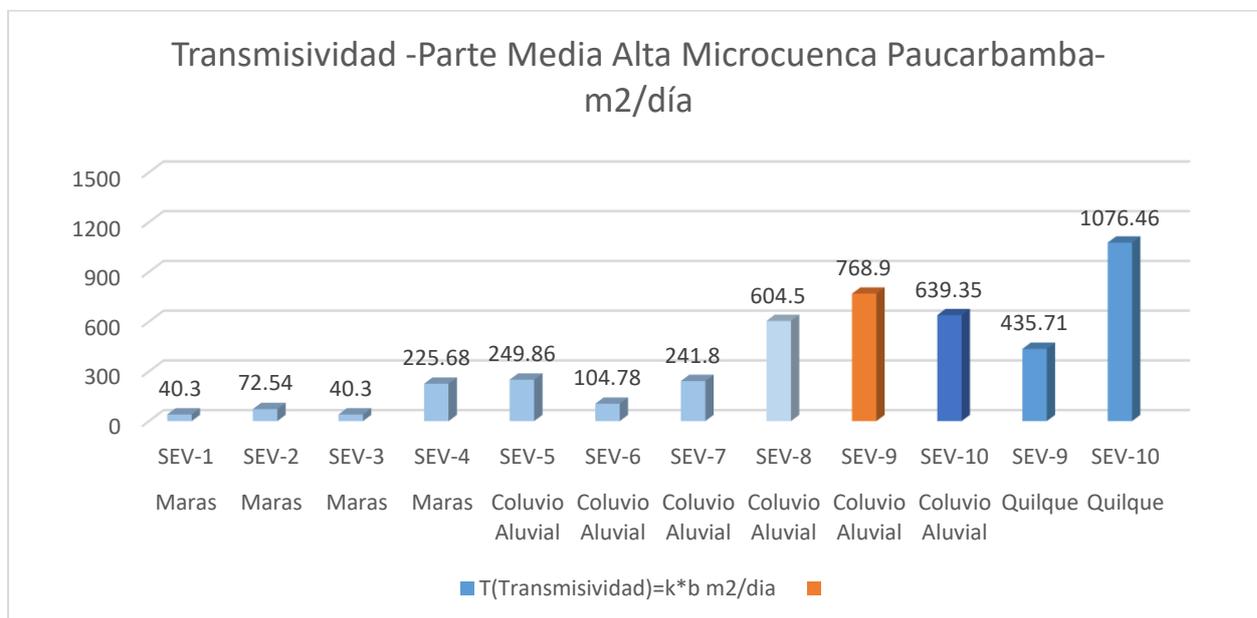
Por tanto, para este análisis se utiliza el ancho o espesor del acuífero obtenido de la geofísica – Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) el cual nos indica las alturas de saturación en cada punto de sondeo y las permeabilidades de cada unidad hidrogeológica presente en la parte media alta de la cuenca formación Quilque- formación Maras y depósito Cuaternario coluvio-aluvial, que se obtuvieron del ensayo de permeabilidad con recarga constante

Las transmisividades se muestran a continuación en la tabla siguiente, cuyo cálculo se sigue acorde a la fórmula de transmisividad.

**Figura 94**

*Transmisividades en diagrama de barras acorde a formación en parte media alta de la cuenca*

*Paucarbamba*

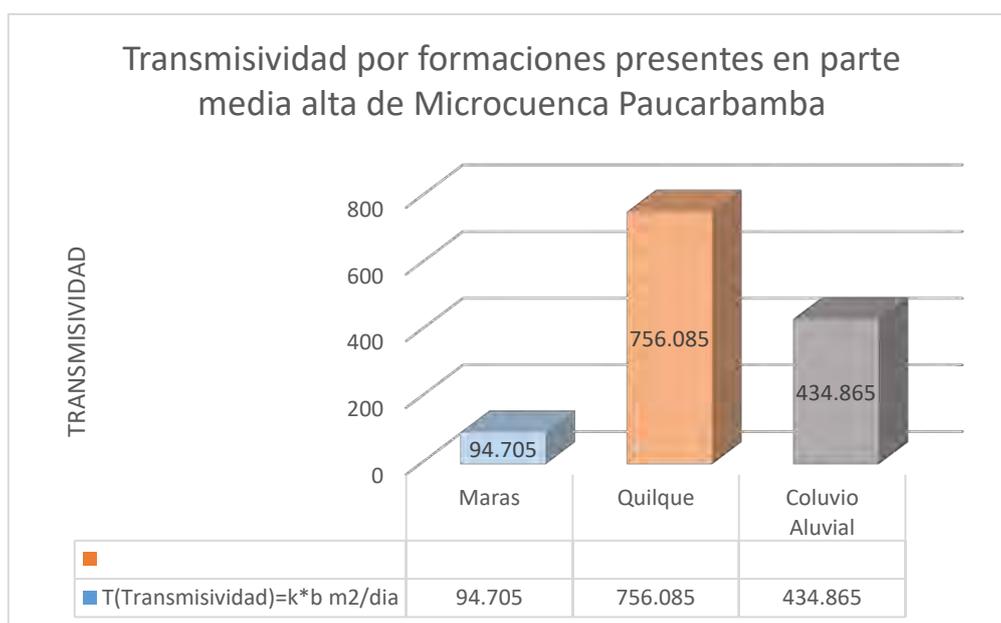


*Nota:* Elaboración Propia, la figura 87 muestra las transmisividades de las formaciones presentes en la parte media alta de la cuenca Paucarbamba

**Figura 95**

*Transmisividad en promedio de las formaciones presentes en la parte media alta de la Cuenca*

*Paucarbamba*



*Nota:* Las transmisividades de la formación Quilque son mucho mayores que el depósito coluvial y por último la formación Maras, indicándonos que la formación Quilque junto al depósito coluvial son los mayores acuíferos ya que son capaces de transmitir gran cantidad de agua

### **3.11.16 Hidroquímica**

La hidroquímica nos permite conocer las características químicas del agua, cuyo objetivo será aprovechable, dicho aspecto es esencial en dos puntos de vista, el punto de vista técnico y lo que se relaciona con su utilización. ( Vélez Otálvaro, 1999)

#### **3.11.16.1 Estaciones de Muestreo en la Cuenca**

El principal objetivo para gestionar y ubicar las estaciones de muestreo, es ubicar estratégicamente los puntos de muestreo, afloramientos, para evaluar la naturaleza, origen geoquímico, calidad de agua subterránea, composición y la interacción con los materiales geológicos de la cuenca.

Por tanto, los puntos de muestreo son 3, fuentes de aguas subterráneas que se ubicaron a través de manantes.

##### **3.11.16.1.1 Propuesta de Serie Analítica**

La serie Analítica propuesta, se seleccionó con el fin de describir las propiedades de los componentes hidroquímicos principales de las aguas subterráneas.

Los parámetros relevantes medidos, analizados e interpretados fueron los siguientes:

Parámetros Físicoquímicos: Ph, conductividad eléctrica, TDS, carbonatos y bicarbonatos.

Parámetros Inorgánicos: Sulfato, cloruros y nitratos además de K, Na, Ca, Mg.

Es menester registrar la geolocalización de los puntos de muestreo (coordenadas UTM, proyección WGS 84). A su vez, se tomaron datos de parámetros de temperatura, TDS, conductividad eléctrica.

##### **3.11.16.1.2 Análisis de Resultados**

El laboratorio requerido para el análisis de las muestras de agua, fue el, en el cual se analizó las tres muestras de agua subterránea.

La gran variedad de componentes y características físico-químicas del agua subterránea, demanda una sistematización en grupos, para explicar de manera sencilla la composición química del agua de la cuenca Paucarbamba.

### 3.11.16.2 Parámetros Físico-Químicos de Agua

#### 3.11.16.2.1 Potencial de Hidrogenión Ph

Este parámetro indica que tan ácido o alcalino es el agua muestreada, más es en efecto una cuantía del potencial de iones de Hidrógeno.

Los valores determinados en campo de los manantiales seleccionados muestran una tendencia entre los valores 6.8 a 8.37, considerándose, por tanto, que no existe una alcalinidad ni acidez notable en las aguas presentes en la cuenca Paucarbamba.

**Tabla 44***Potencial de hidrogeniones de las muestras respectivas*

<b>Muestra</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Altura</b>	<b>pH</b>	<b>Descripción</b>
M-01		8526466	803243	3479	7.18	Ligeramente Alcalino
M-02		8525666	803668	3499	7.67	Ligeramente Alcalino
M-03		8525651	803678	3490	7.55	Ligeramente Alcalino
M-04		8525711	803678	3490	7.64	Ligeramente Alcalino
M-05		8525737	803727	3445	8.01	Alcalino
M-06		8525776	803758	3433	7.65	Ligeramente Alcalino
M-07		8526542	803419	3404	8.14	Alcalino
M-08		8525928	803882	3401	8.37	Alcalino
M-09		8526212	804004	3380	8.5	Alcalino
M-01L	X	8526464	803240	3478	6.8	Neutro Ligeramente ácido
M-03L	X	8525654	803675	3486	7	Neutro
M-06L	X	8525772	803753	3430	6.9	Neutro Ligeramente ácido

*Fuente:* Elaboración Propia

*Nota:* Se observa que la tendencia del agua en la cuenca es a Neutro con presencia de aguas consideradas como ligeramente alcalinas, alcalinas y Neutro Ligeramente ácido.

### 3.11.16.2.2 Temperatura

Resaltar que los valores de temperatura están sumamente relacionados a la profundidad de flujo que tiene el agua a través de su recorrido. Sin embargo, para concebir la idea de forma práctica, puede considerarse que en los acuíferos existe una "zona neutral" de temperatura constante, por encima de la cual la influencia térmica más significativa es la de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura ambiente. Por debajo de esta zona el factor preponderante es el "gradiente geotérmico" o variación de la temperatura con la profundidad que, en áreas continentales, se considera normal cuando es de 1° grados C por cada 30 metros. (Martínez Alfaro, Martínez Santos, & Castaño Castaño, 2006)

Es necesario comentar que las aguas subterráneas que tengan temperaturas superiores a 20° C se consideran que tienen influencia de fuentes termales.

Las fuentes inventariadas varían entre por tanto ninguna fase se considera como fuente termal.

**Tabla 45***Temperatura de las aguas muestreadas*

<b>Muestra</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Altura</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Descripción</b>
M-01		8526466	803243	3479	16.9°	Agua no Termal
M-02		8525666	803668	3499	16.3°	Agua no Termal
M-03		8525651	803678	3490	16.5°	Agua no Termal
M-04		8525711	803678	3490	16.4°	Agua no Termal
M-05		8525737	803727	3445	16.8°	Agua no Termal
M-06		8525776	803758	3433	16.6°	Agua no Termal
M-07		8526542	803419	3404	16.5°	Agua no Termal
M-08		8525928	803882	3401	15.9°	Agua no Termal
M-09		8526212	804004	3380	16.1°	Agua no Termal
M-01L	X	8526464	803240	3478	16.5°	Agua no Termal
M-03L	X	8525654	803675	3486	16.8°	Agua no Termal
M-06L	x	8525772	803753	3430	16.0	Agua no Termal

### 3.11.16.2.3 Conductividad Hidráulica

De acuerdo a los estudios hidrogeológicos elaborados por el Instituto INGEMMET en el interior del país en distintas cuencas hidrográficas, la conductividad eléctrica en aguas subterráneas en plataformas continentales (distantes de la costa) comprenden entre el rango de 10 uS/cm y 1300 uS/cm en condiciones aptas para consumo humano y riego. (Peña Laureano, Sanchez Diaz, & Pari Pinto , 2010)

En la Cuenca Paucarbamba los valores obtenidos de conductividad tienen valores normales de agua dulce, por lo que se deduce que provienen de unos acuíferos muy bueno de calidad probada, como se puede observar a continuación a excepción de un punto de muestreo M-09 que presenta 2762 uS/cm en conductividad producto de las sales presentes e iones en la formación Maras.

**Tabla 46***Conductividades de los muestreos de Agua*

<b>Muestra</b>	<b>Análisis en Laboratorio</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Altura</b>	<b>conductividad</b>
M-01		8526466	803243	3479	460
M-02		8525666	803668	3499	486
M-03		8525651	803678	3490	592
M-04		8525711	803678	3490	686
M-05		8525737	803727	3445	655
M-06		8525776	803758	3433	648
M-07		8526542	803419	3404	685
M-08		8525928	803882	3401	895
M-09		8526212	804004	3380	2762
M-01L	X	8526464	803240	3478	382
M-03L	X	8525654	803675	3486	370
M-06L	X	8525772	803753	3430	410

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Se muestra las conductividades de los muestreos realizados en campo y en laboratorio se puede apreciar que las conductividades no son altas excepto en la muestra M-09 con una conductividad de 2762  $\mu\text{S}/\text{cm}$  producto de la presencia de sales que aporta la Formación Maras.

### 3.11.16.3 Facies Hidroquímicas

Teniendo como referencia, el mapa de inventariado de las fuentes de agua, se procedió a evaluar la composición y concentración de los componentes a nivel iónico, mas solo mayoritariamente, como los cationes  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$   $\text{K}^{+}$   $\text{Na}^{+}$  y aniones como  $\text{Cl}^{-}$   $\text{SO}_4^{2-}$   $\text{NO}_3^{-}$  y  $\text{CaCO}_3^{-}$

El análisis de las facies Hidroquímicas de las aguas muestreadas, se realizó utilizando una hoja programada Excel, que, además, de proporcionar las facies hidroquímicas correspondientes nos otorga el diagrama Piper, que indica la proporción característica de los tres componentes en la composición del conjunto de muestreos de agua.

Para cumplir el propósito de interpretación final se utiliza el diagrama Piper, entender e identificar el origen de agua subterránea y la influencia del medio geológico (interacción agua-roca) así como la relación que se produce para un uso determinado.

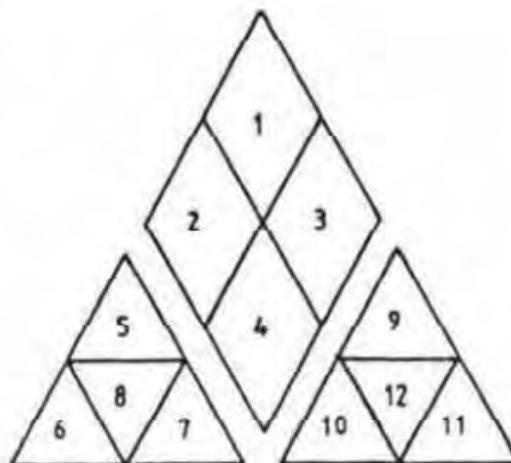
### 3.11.16.3.1 Diagrama Piper

Los gráficos triangulares se utilizan para representar los tres componentes presentes. La suma de los mencionados alcanza el 100% de la composición. En la Hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes principales y otro para los aniones. El diagrama Piper está formado por dos triángulos con un rombo que recoge la información de ambos triángulos:

**Figura 96**

*Clasificación de agua según PIPER*

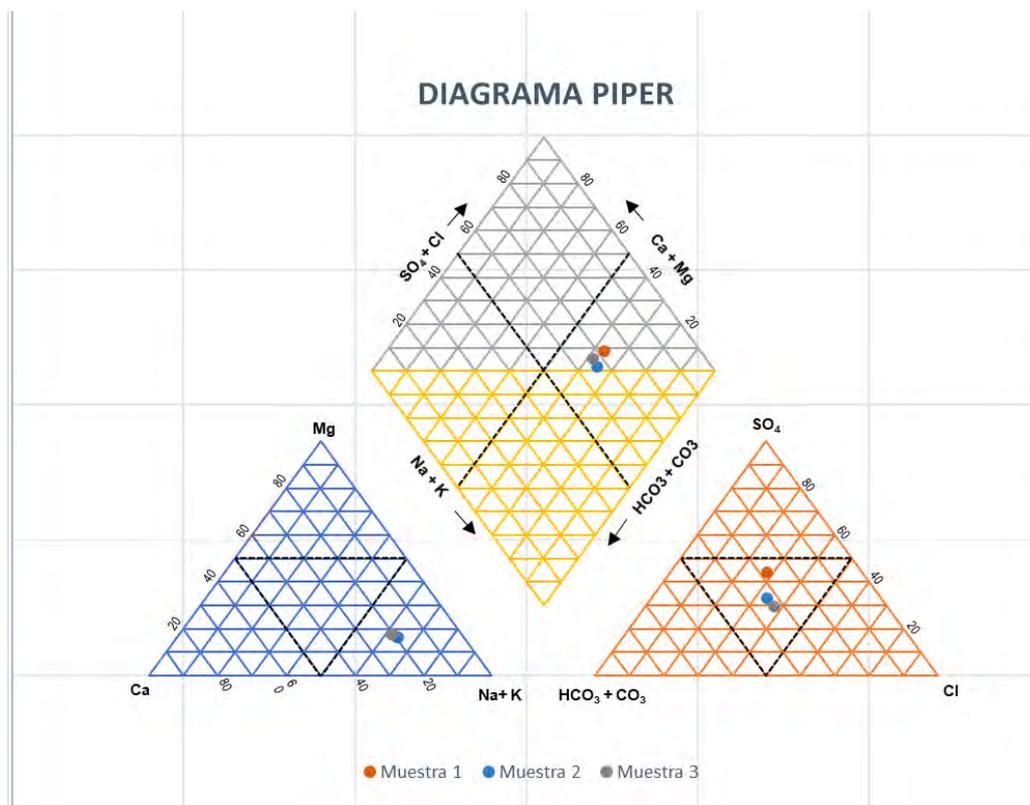
Nº	Tipo de Agua
1	Aguas sulfatadas y/o cloruradas, cálcicas y/o magnésicas
2	Aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.
3	Aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas.
4	Aguas bicarbonatadas sódicas
5	Aguas magnésicas.
6	Aguas cálcicas.
7	Aguas sódicas
8	Aguas magnésicas, cálcicas y sódicas
9	Aguas sulfatadas.
10	Aguas bicarbonatadas.
11	Aguas cloruradas
12	Aguas sulfatadas, bicarbonatadas y cloruradas.



Nota: El triángulo evidencia la clasificación de agua según sus composiciones químicas.

Figura 97

Diagrama Triangular de composición de agua subterránea muestreada, PIPER



Según el diagrama anterior el agua de manantial Muestra 1L es Sulfatada Clorurada Sódica ( $SO_4$ -Cl-Na), el agua de manantial Muestra 3L es Clorurada Bicarbonatada Sódica (Cl- $HCO_3$ -Na) el agua de manantial Muestra 6L también es Clorurada Bicarbonatada Sódica (Cl- $HCO_3$ -Na). Infiriéndose que el aporte carbonatado proviene de la influencia de la formación Maras con presencia de bloques de calizas en su composición.

#### 3.11.16.4 Inventario de Fuentes de Agua

El muestreo del agua lo realizamos en los manantes, los cuales muestran fluencia de agua en la superficie, estos test los hicimos con el aparato Multitester, evaluando así parámetros físicos y químicos; a continuación, se muestra la tabla con la sistematización de los parámetros evaluados en los muestreos respectivos georreferenciados.

**Tabla 47**

*Tabla de sistematización de evaluación de agua subterránea, Inventario de agua*

<b>Muestra</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Altura</b>	<b>conductividad</b>	<b>ppm</b>	<b>PH</b>	<b>T°</b>
M-01	8526466	803243	3479	460	1250	7.18	16.9°
M-02	8525666	803668	3499	486	1465	7.67	16.3°
M-03	8525651	803678	3490	592	1122	7.55	16.5°
M-04	8525711	803678	3490	686	1296	7.64	16.4°
M-05	8525737	803727	3445	655	1302	8.01	16.8°
M-06	8525776	803758	3433	648	1374	7.65	16.6°
M-07	8526542	803419	3404	685	1144	8.14	16.5°
M-08	8525928	803882	3401	895	1410	8.37	15.9°
M-09	8526212	804004	3380	2762	1758	8.5	16.1°
M-01L	8526464	803240	3478	382	1102	6.8	16.5°
M-03L	8525654	803675	3486	370	1085	7	16.8°
M-06L	8525772	803753	3430	410	1004	6.9	16

### 3.11.16.5 ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

#### 3.11.16.5.1 ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

Debido a la no existencia de fuentes de agua superficial, en cantidades explotables, no es posible el desarrollo de actividades que involucren su uso, lo que conlleva a la pérdida de importantes fuentes de ingreso económico para los propietarios y pobladores de las zonas aledañas y en general para el distrito de Maras.

Por tanto, el análisis de calidad de agua en los puntos de muestreo es de relevancia debido a que el recurso hídrico subterráneo que aflora en manantes mediante la caracterización con muestreos se puede evaluar si poseen características idóneas para el uso en riego, cuya actividad económica se ve limitada por la ausencia de fuentes de agua superficial.

Las evaluaciones se hicieron siguiendo las consideraciones de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua D.S N° 004-2017-MINAM

**Tabla 48***Clasificación de Agua para Riego de la muestra M-01L*

MUESTRA 1L			
Parámetro* FÍSICOCUIMICOS	Unidad	Resultados	Valores Normales (para RIEGO)
1 pH	Unidades de pH	6.8	6.5-8.5
2 Calco	mg/L	47.2	hasta 200
3 Magnesio	mg/L	24.48	hasta 150
4 Sodio	mg/L	177	hasta 200
5 Cloruros	mg/L	100.7	hasta 500
6 Conductividad	uS/cm	382	hasta 2 500
7 Sulfatos	mg/L	212.5	hasta 1000
8 Bicarbonato	mg/L	172	hasta 518
9 Hierro	mg/L	0.75	hasta 5.0
10 Boro	mg/L	0.54	hasta 1.0
11 Turbiedad	UNT	2.1	.....
12 Dureza total CaCO <sub>3</sub>	mg/L	220	hasta 500
13 Total, de sólidos disueltos	mg/L	207	hasta 2000
Conclusión	Los valores se encuentran dentro del límite permisible ECA		

**Tabla 49***Clasificación de Agua para Riego de la muestra M-03L*

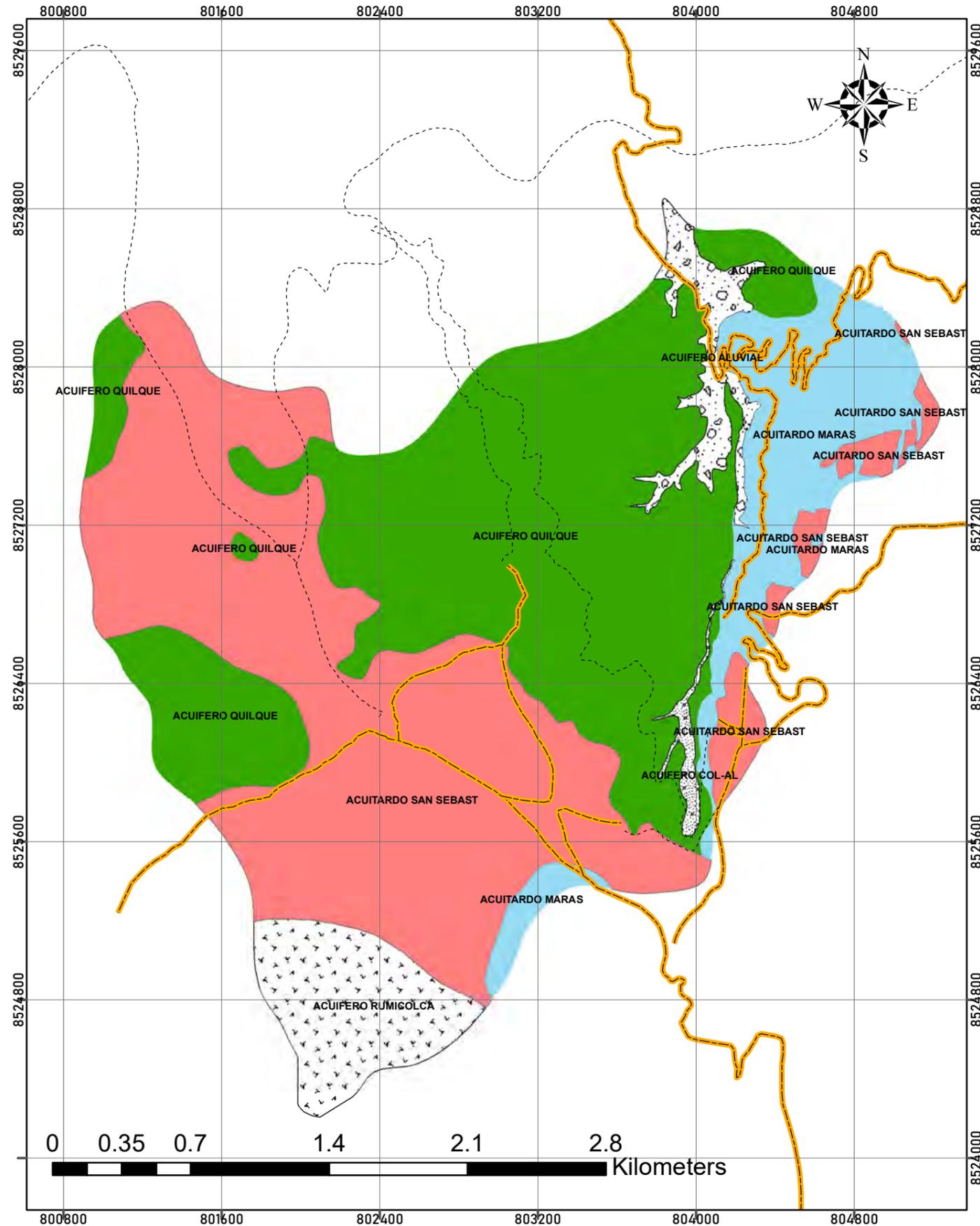
MUESTRA 3L			
Parámetro* FÍSICOCUIMICOS	Unidad	Resultados	Valores Normales (para RIEGO)
1 pH	Unidades de pH	7.0	6.5-8.5
2 Calco	mg/L	45.6	hasta 200
3 Magnesio	mg/L	23.04	hasta 150
4 Sodio	mg/L	175	hasta 200
5 Cloruros	mg/L	89.3	hasta 500
6 Conductividad	uS/cm	370	hasta 2 500
7 Sulfatos	mg/L	118.6	hasta 1000
8 Bicarbonato	mg/L	153	hasta 518
9 Hierro	mg/L	0.74	hasta 5.0
10 Boro	mg/L	0.53	hasta 1.0
11 Turbiedad	UNT	4.3	.....
12 Dureza total CaCO <sub>3</sub>	mg/L	210	hasta 500
13 Total, de sólidos disueltos	mg/L	195	hasta 2000
Conclusión	Los valores se encuentran dentro del límite permisible ECA		

**Tabla 50***Clasificación de Agua para Riego de la muestra M-06L*

MUESTRA 6L			
Parámetro* FÍSICOQUÍMICOS	Unidad	Resultados	Valores Normales (para RIEGO)
1 pH	Unidades de pH	6.9	6.5-8.5
2 Calcio	mg/L	52	hasta 200
3 Magnesio	mg/L	26.88	hasta 150
4 Sodio	mg/L	180	hasta 200
5 Cloruros	mg/L	127.6	hasta 500
6 Conductividad	uS/cm	410	hasta 2 500
7 Sulfatos	mg/L	136	hasta 1000
8 Bicarbonato	mg/L	192	hasta 518
9 Hierro	mg/L	0.77	hasta 5.0
10 Boro	mg/L	0.54	hasta 1.0
11 Turbiedad	UNT	3.1	.....
12 Dureza total CaCO <sub>3</sub>	mg/L	242	hasta 500
13 Total, de sólidos disueltos	mg/L	211	hasta 2000
Conclusión	<i>Los valores se encuentran dentro del límite permisible ECA</i>		

Nota: Las tres muestras evaluadas en Laboratorio evidencian ser aptas para uso en riego debido a su composición y características adecuadas para el crecimiento y desarrollo de flora y agricultura en la zona.

# PLANO HIDROGEOLOGICO



LEYENDA				
Unidad Hidrogeológica	CLASIFICACIÓN	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	
Acuífero Sedimentario	Q-al	Acuífero Aluvial	Bloques de areniscas, yesos envueltos en matriz areno-arcillosa	Acuíferos de baja mediana a baja profundidad, conformado por materiales porosos no consolidados
	Peo-sj	Acuífero Quilque	Areniscas finas grises con matriz calcarea y lutitas rojas intercaladas, altamente fracturadas	Acuíferos con porosidad primaria y secundaria presenta gran extensión y productividad en la zona de estudio.
Volcánico	Q-ru	Acuífero Rumicolca	Andesitas de color gris oscuro, matriz afanítica y predominancia de biotitas	Acuíferos fisurados con buena productividad
Acuitardo Sedimentario	Q-sa	Acuitardo Lacustre	Arcillas y diatomitas calcareas	Las arcillas presentan saturación pero no transmisibilidad.
	Ki-ma	Maras	Conformado por yesos caóticos, lutitas verdes, se evidencia por la presencia de carcavas, derrumbes y deslizamientos	Los yesos tienen un comportamiento de acuífugo.

SIMBOLOGIA	
-----	Camino de Herradura
-----	Trocha Carrozable
-----	Línea Ferrea
-----	Via Asfaltada

"ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA-CUSCO 2020"

## PLANO HIDROGEOLOGICO

Elaborado por:

Bach. Cristian Valencia  
Bach. Guido Almanza

Ubicación:

Departamento : Cusco  
Provincia : Urubamba  
Distrito : Maras



P-HG-01

Escala Indicada

Fecha: Marzo del 2023

### 3.12 PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

#### 3.12.1 Generalidades

#### 3.12.2 Prospección geofísica

La geofísica como ciencia tal comprende el estudio del planeta tierra siendo la prospección geofísica una rama de aplicación moderna de la geofísica aplicada, corresponde a métodos y técnicas físicas, matemáticas y científicas orientadas a conocer la distribución de los materiales en el subsuelo y sus propiedad con diversos fines teniendo los más usuales la búsqueda de yacimientos mineros, reservas petrolíferas, agua subterránea y descripción de las características de estratos y roca madre con fines geotécnicos.

#### 3.12.3 Métodos

Los métodos más usuales y con amplia aplicación y de uso general corresponden a las metodologías descritas en la tabla 52.

**Tabla 51**

*Clasificación de los Métodos de Prospección Geofísica.*

<b>Fuente</b>	<b>Método</b>	<b>Tipo</b>
Eléctrico	Magnético	Natural
	Gravimétrico	Natural
	Corrientes Telúricas	Natural
	Potencial Propio	Natural
	Líneas equipotenciales	Inducido
	Resistivo	Inducido
	Caída de Potencial	Inducido
Sísmico	Electro magnético	Inducido
	Terremotos	Natural
	Refracción	Inducido
	Reflexión	Inducido
	Radioactivos	Natural e Inducido
	Térmicos	Natural

*Nota.* Fuente: (Custodio & Llamas,1996).

### 3.12.4 Funcionalidad y equipos:

#### 3.12.4.1 Método

El método usado para el presente estudio fue el método eléctrico resistivo, siendo específicos corresponde al sondeo eléctrico vertical, esta técnica se basa en la medida de la resistividad o la resistencia aparente que ofrecen los estratos al paso de la corriente eléctrica, este procedimiento se representa mediante una gráfica que señala una curva de georesistividad donde se grafican las mediciones realizadas en superficie vs las resistividades del subsuelo.

**Sondeo Eléctrico Vertical:** corresponde a un tipo de técnica del método eléctrico para la prospección de aguas subterráneas, tiene por objetivo conocer las distribuciones de resistividad aparente del subsuelo mediante el estudio y correlación de las propiedades físicas y eléctricas de los diferentes materiales constituyentes del subsuelo, así como la presencia de aguas subterráneas, basamento rocoso, etc., mostrando un determinado comportamiento frente al paso de la corriente eléctrica.

La resistividad se mide mediante la unidad física ohmio-metro, teóricamente se le asigna a la medida por donde se permite pasar la intensidad de un amperio a un conductor de dimensiones de 1 metro de largo y sección transversal de 1 m<sup>2</sup> y que se le aplica un voltio como medida de diferencia de potencial.

El terreno y subsuelo tiene diferentes comportamientos dando valores distintos para cada material (roca, sedimento, basamento), además de la presencia de poros saturados o no saturados con agua sumado a la presencia de sales disueltas muestran una diferencia en las resistividades estudiadas por lo que no es posible establecer una clasificación por resistividades de los materiales. El agua que se encuentra en poros y fracturas de la roca al poseer iones disueltos es altamente conductivo lo que determina una resistividad muy baja en los horizontes de

prospección lo que pone en evidencia zonas de saturación, nivel freático, horizontes sin saturación, zonas de intrusión marina.

Para efecto de estudio custodio y llamas establecieron una resistividad característica para determinados materiales descritos en la tabla 53:

**Tabla 52**

*Resistividades por tipo de material.*

<b>Material</b>	<b>Ohmio - metro</b>
Aguas subterráneas en granito y roca hipogénica	20-100
Aguas subterráneas en caliza y acarreos	20-50
Aguas potables superficiales	1-10
Agua de mar	20-300
Agua destilada	Menor de 0.2
Arcillas y margas	Mayor de 500
Calizas y areniscas	10-100
Pizarras	50-3000
Rocas hipogénicas y metamórficas	50-300
Gravas	100-1000
Arenas	130-10000
Limos	30-500

*Nota.* Fuente: (Custodio & Llamas,1996).

#### 3.12.4.2 Dispositivo

Para los estudios de prospección geológica por el método de Sondeo Eléctrico Vertical existen numerosas configuraciones y entre ello arreglos, conociendo como arreglos a la disposición y distanciamiento existente de los componentes (electrodos) usados en el método de sondeo eléctrico vertical, entre los equipos de medición para lo que se debe entender los equipos, materiales y herramientas empleadas en los estudios de prospección.

## Equipamiento para Sondeo Eléctrico Vertical

Para el levantamiento geofísico por medio de sondeo eléctrico vertical se requiere determinados elementos compuesto por instrumentos, equipos y herramientas que conforman los siguientes circuitos:

**Circuito de emisión:** compuesto por una fuente de energía eléctrica, amperímetro con el fin de medir la corriente eléctrica, electrodos de emisión de corriente eléctrica denominados (electrodos A y B) y cables de transmisión eléctrica dispuestos en carretes para una adecuada manipulación.

**Circuito de recepción:** circuito que tiene por objetivo recibir el voltaje eléctrico emitido por el circuito de emisión, consta de un milivoltímetro digital, y dos electrodos de recepción (denominado M y N).

Estos dispositivos eléctricos asociados conforman el equipo necesario para el método geoléctrico denominado sondeo eléctrico vertical, el mercado actual consta de equipos ya equipados en conjunto denominado resistivímetro adecuados para los objetivos de levantamiento geofísico.

### Figura 98

*Resistivímetros acondicionados manualmente o de fabricación.*



*Nota. Fuente: (Carrasco Cortez, 2020).*

Para el levantamiento de campo del presente estudio se utilizó un resistivímetro marca iris modelo Syscal Junior, equipo diseñado para trabajos de sondeo y perfilado de resistividad, con funcionamiento estándar para el registro de mediciones y levantamiento geofísico por el método de sondeo eléctrico vertical.

### 3.12.4.3 Configuración

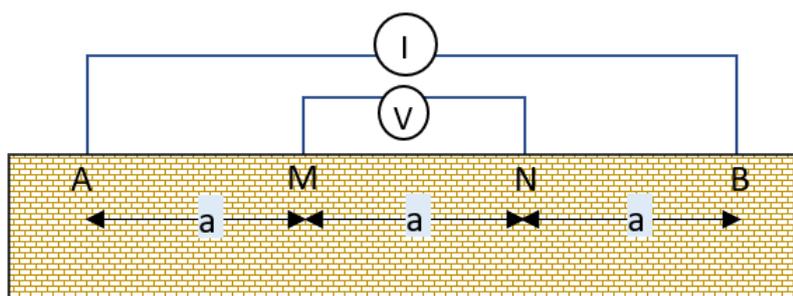
Se conoce como configuración de electrodos o arreglo de electrodos a la disposición espacial en el campo de estudio de los electrodos tanto del circuito emisor como del circuito receptor, existen variadas disposiciones cuyo espaciamiento condiciona el trabajo en campo y el levantamiento de información geofísica, permitiendo la mayor agilidad para la toma de datos y versatilidad en terrenos poco favorables para la exploración, las disposiciones más conocidas y utilizadas en campo son el método de Wenner y de Schlumberger que corresponden a métodos que emplean cuatro electrodos AMNB alineados entre sí y simétricamente ubicados a partir de un centro donde se ubica el dispositivo de prospección.

#### Disposición Wenner

Arreglo lineal que usa 4 electrodos con un espaciamiento total de electrodos denominado “a” constante, los electrodos MN (recepción) se emplazan en la parte central del arreglo, la ventaja de esta configuración es la utilidad cuando se tiene valores bajos de voltaje en la recepción. La figura 89 muestra el dispositivo.

#### Figura 99

*Configuración por el método de Wenner.*



*Nota. Fuente: Modificado de (Custodio & Llamas, 1996).*

Donde:

A, B: Electrodo de corriente

M, N: Electrodo de potencial

a: Espaciamiento de los electrodos

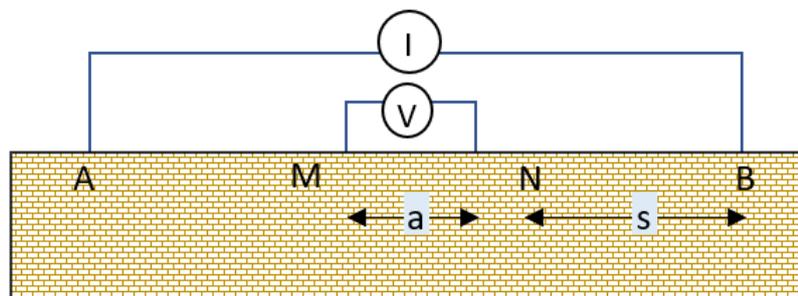
### Disposición Schlumberguer

Configuración usada para medir la resistividad aparente donde se expande el espaciamiento de los electrodos aumentando la distancia entre los electrodos de corriente logarítmicamente conforme se realicen las mediciones, el objetivo de la disposición es tener una mínima distancia entre los electrodos de potencial o recepción MN con respecto a los electrodos de inyección de corriente figura 90, la distancia MN se estima teóricamente como  $1/5$  o  $1/3$  de la distancia AB.

La disposición de Schlumberguer es una de los métodos más usados para trabajos de prospección geofísica por el método de sondeo eléctrico vertical, el presente estudio se realizando usando la disposición de Schlumberguer.

### Figura 100

*Configuración por el método de Schlumberguer.*



*Nota. Fuente: Modificado de (Custodio & Llamas, 1996).*

Donde:

A, B: Electrodo de corriente.

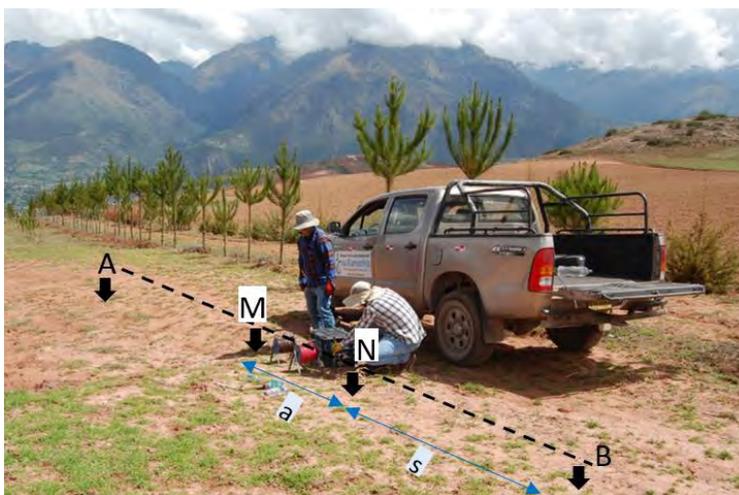
M, N: Electrodo de potencial.

a: Espaciamiento de electrodos de potencial.

s: Espaciamiento medio de electrodos de corriente.

### Figura 101

*Disposición de Schlumberguer en campo.*



*Nota.* Fuente: Propia.

En la tabla 54 se describe las aplicaciones más usuales del sondeo eléctrico vertical mediante la disposición de Schlumberguer denotando las longitudes de separación entre los electrodos AB; para el presente estudio se establecieron longitudes de espaciamento AB entre 140 m y 200 m, esto en función a la topografía de la zona de estudio y el nivel de detalle requerido.

### Tabla 53

*Aplicaciones de los tipos de Sondeo Eléctrico Vertical.*

TIPO DE SEV	LONGITUD	PRINCIPAL APLICACION
Corto	AB hasta 250 m	Geotecnia y Arqueología
Normal	$250 \text{ m} < AB < 2500 \text{ m}$	Hidrogeología
Largo	$2500 \text{ m} < AB < 25000 \text{ m}$	Prospección Petrolera
Muy Largo	Hasta 1200 km	Investigación Geofísica

*Nota.* Fuente: Modificado de (Custodio & Llamas, 1996).

#### 3.12.4.4 Adquisición de Datos

Según las disposiciones de electrodos descritos en el ítem anterior se usó la disposición de Schlumberger para el estudio en la parte media de la cuenca Paucarbamba, teóricamente los electrodos de recepción MN se mantienen fijos mientras los electrodos de corriente AB se separan a lo largo de la toma de datos, para casos donde la medida de potencial es mínima con respecto a la escala del milivoltímetro se incrementan la distancia entre los electrodos de recepción MN realizando una lectura doble, la primera correspondiente a la separación de AB y MN y otra segunda lectura MN con la nueva separación  $AB/2$ , denominando a esta operación empalme, para la obtención de datos en el presente estudio se usó la metodología de empalmes.

#### 3.12.4.5 Registro de Datos

El equipo usado permite la visualización de resultados durante el proceso del sondeo eléctrico vertical teniendo valores de diferencia de potencial ( $\Delta V$ ) medido en milivoltios, Intensidad de corriente eléctrica (I) medido en miliamperios y resistividad ( $\rho$ ) medida en ohmios – h, siendo la resistividad el valor de mayor importancia para determinar la presencia de aguas subterráneas.

Para realizar la toma de datos se utiliza un formato impreso tabla 55 donde señalan el espaciamiento medio de los electrodos de corriente  $AB/2$ , espaciamiento de electrodos de potencial MN, se tiene las distancias establecidas para realizar los empalmes para el cambio de espaciamiento MN, factor geométrico K denotado por la siguiente formula:

$$K = \pi((S^2/a) - (a/4))$$

El formato contempla la toma de datos de diferencia de potencial ( $\Delta V$ ), Intensidad de corriente eléctrica (I) y resistividad ( $\rho$ ) medido durante el proceso de levantamiento geofísica.

**Tabla 54**

*Formato para la toma de datos en campo.*

AB/2	MN	K	$\Delta V$ (Mv)	I (mA)	$\rho$ (omh- h)	Observaciones
1	0.5	5.89				
2	0.5	13.75				
3	0.5	56.16				
3	1.5	17.67				
4	1.5	32.33				
5	1.5	51.18				
7	1.5	101.4				
10	1.5	208.3				
10	5	58.9				
15	5	137.4				
20	5	247.4				
25	5	388.8				
30	5	561.6				
30	15	176.7				
40	15	323.3				
50	15	511.8				
70	15	1015				
100	50	2083				
100	15	589				
150	50	4706				
150	50	1374				
200	50	2474				
250	50	3888				
300	50	5614				
300	150	1767				
400	50	1001				
400	150	3233				
500	150	5118				

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de formatos usados en campo.

### 3.12.4.6 Planeamiento

De acuerdo a los trabajos de precampo se estableció la zona de mayor interés correspondiente a la parte media de la cuenca Paucarbamba, en el lado este de la zona de estudio, se planeó realizar un total de 11 sondeos, la figura muestra la ubicación de los puntos establecidos para el levantamiento de SEV's.

## Figura 102

*Ubicación de puntos para SEV's.*



*Nota.* Fuente: Google Earth.

### 3.12.4.7 Resultados e interpretación

Se levantaron un total de 11 SEV's con el fin de tener un conocimiento amplio y óptimo de los resultados que son el conocimiento geológico, la localización de agua subterránea de manera indirecta, así como determinar los niveles freáticos y con esta información proponer la obra adecuada para la explotación de las aguas subterráneas.

Realizado el trabajo en campo y recogidos los datos señalados en el formato de la tabla 55 se procedió a la creación de una base de datos para el debido tratamiento y análisis en software especializado para el diseño e interpretación de la información de los sondeos eléctricos verticales.

### Programa

Para la interpretación y tratamiento se usó el software IPI2WIN, el programa consiste en un software de interpretación 1D desarrollado por el departamento de geofísica en la facultad de geología de la Universidad Estatal de Moscú, el programa admite la base de datos recogida en campo y permite elegir los arreglos más usados para los sondeos eléctricos verticales, seguido crea puntos sev lo cuales grafican la curva de resistividad aparente para cada SEV pudiendo

suavizar para una adecuada representación e interpretación, el programa además de crear los SEVS en 1D une e interpola los sondeos generando perfiles georesistivos permitiendo correlacionar la información de prospección geofísica con la geología y poder determinar la presencia de agua subterránea.

El interfaz y ventana de trabajo es de características sencillas de fácil uso, pudiéndose usar en diferentes idiomas y con las herramientas necesarias de generación de archivos, guardado y modelado.

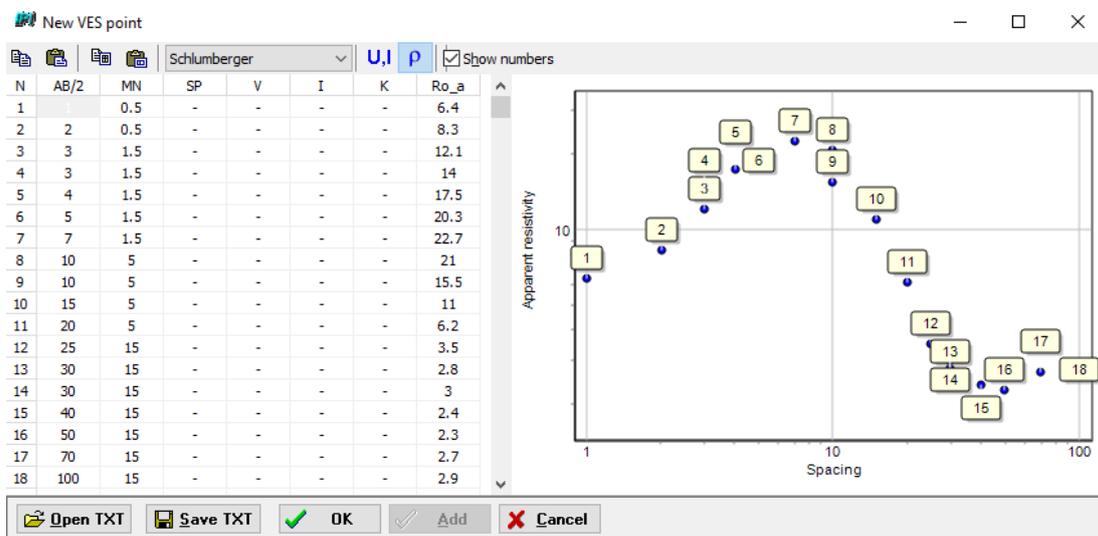
### **Ploteo de Sevs y curvas**

Generados la base de datos de las mediciones en campo de los SEV's el software permite la introducción de la data generada con el fin de crear puntos SEV y la respectiva curva de resistividad. Con la herramienta de crear nuevo punto SEV se despliega una ventana donde pide insertar determinados parámetros y datos para el ploteo.

La plantilla tiene al método de Schlumberguer por defecto, el cual se puede cambiar por otros métodos como Wenner y/o Polo Dipolo, la plantilla solicita el espaciamiento AB/2, MN y la resistividad como información necesaria para la creación del punto SEV, la figura 93 muestra la ventana para la creación de nuevo sev, se observa la plantilla de datos requerida y la previsualización de los datos Sev formando una curva de resistividad, esta previsualización permite ajustar los datos que por diferentes motivos pudieran tener ruido al momento del trabajo en campo y corregirlo para que se adecue de mejor manera a la información recolectada.

**Figura 103**

Ventana para creación de SEV's.



*Nota.* Fuente: Propia a partir de software IPI2WIN.

Una vez validada la data se guardó en formato que admite el programa y genera el gráfico de la curva de resistividad en una escala bilogarítmica teniendo en el eje X los valores de AB/2 y en el eje Y los valores de la resistividad aparente, se tiene un primer ploteo en la que la curva no se ajusta a los valores obtenidos en campo y grafica una mínima cantidad de horizontes resistivos, para tener una curva ajustada a los datos recogidos de campo y un mayor detalle de horizontes resistivos se realiza el suavizado del modelo, el software permite este proceso junto a configuraciones de error mínimo de ajuste de la curva, así como el número de horizontes de resistividad.

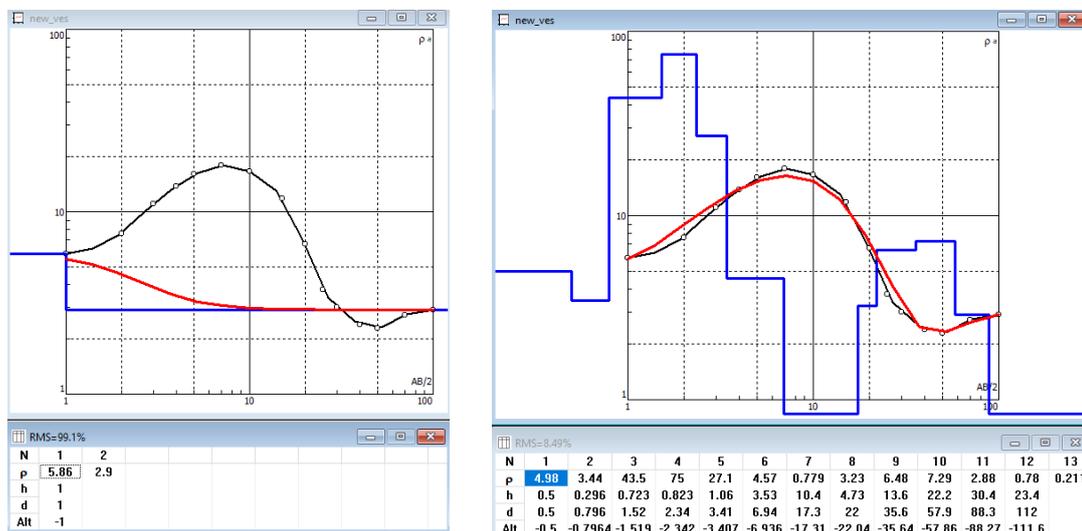
La figura 94 muestra la curva de resistividad antes y después del proceso de suavizado, se observa los siguientes componentes de los gráficos:

- Curva de resistividad denotado en color rojo.
- Horizontes resistivos o capas, color azul.
- Datos recogidos de campo representado por puntos.
- $\rho$  = resistividad real.

- $h$  = espesor de la capa en metros.
- $d$  = techo de capa en metros.

**Figura 104**

*Curva de resistividad en software IPI2WIN.*



*Nota.* Fuente: Propia a partir de software IPI2WIN.

El proceso de creación se dio para todos los sondeos elaborados en campo, el software permite interpolar los SEVS permitiendo crear perfiles georesistivos para una adecuada interpretación de la geología y estructuras del presente estudio, el software permite interpolar los sondeos ubicados espacialmente mediante distancias reales entre los sondeos y en disposiciones lineales.

Se propuso elaborar 03 perfiles con los sondeos levantados en campos, el primer perfil con los sondeos 04-03-02-01 con dirección norte a sur, el perfil 09-08-07-06-05 en el eje de la quebrada Paucarbamba y por último el perfil 10-09-04 perpendicular al eje de la quebrada. La figura 95 muestra los perfiles en color azul en una vista satelital.

## Figura 105

*Perfiles georesistivos.*



*Nota.* Fuente: Propia a partir de software IPI2WIN.

El programa permite interpolar los valores de la resistividad real o teórica entre los sondeos formando perfiles, permitiendo conocer horizontes georesistivos con espesores y continuidad de la resistividad relacionándolos con la geología de la zona de estudio, la presencia de agua y estructuras afines. Los perfiles generados por el software corresponden a un primer perfil correspondiente a las resistividades aparentes en una trama de colores y un segundo perfil con el modelo de resistividad del subsuelo con los valores procesados.

Los modelos generados en el software muestran los valores de resistividad en trama de colores, así como la escala horizontal y vertical para una identificación adecuada de distancias entre sondeos y profundidades. A continuación, se tiene la descripción de los perfiles generados, así como la visualización del modelo.

### 3.12.4.8 Perfil Geoelectrico SEV's: 04, 03, 02 y 01

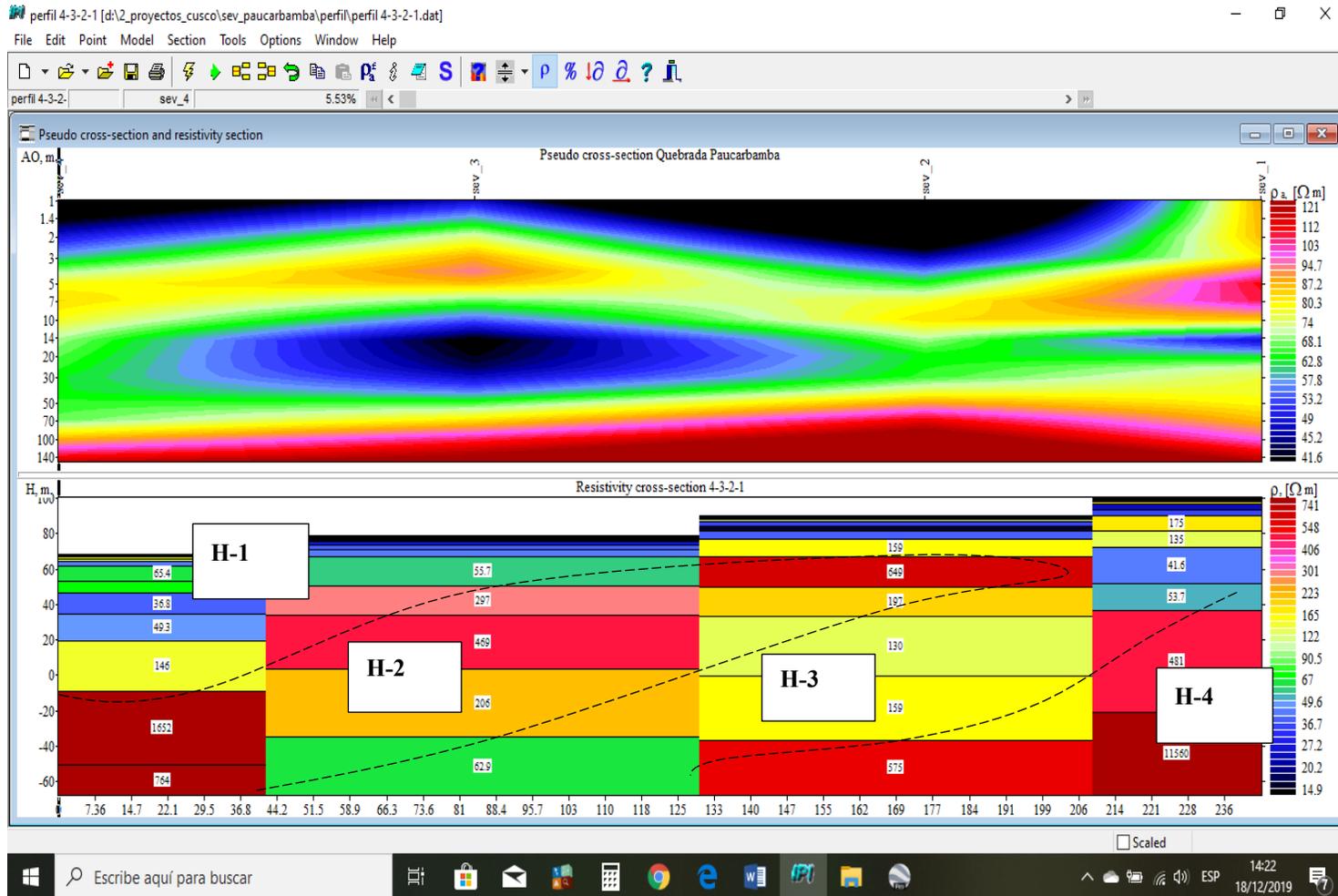
- El presente perfil desarrollado en la llanura de la margen derecha de la quebrada Paucarbamba, contempla el extremo este de la cuenca Paucarbamba en terrenos con plantaciones de pinos y zonas agrícolas paralelo al eje de la quebrada y al costado de la carretera Moray - Paucarbamba, área que presenta un primer horizonte compuesto de suelo arcillo – gravoso como material de cobertura. Este material se encuentra húmedo

con valores de resistividad que varían entre 65 a 170 Ohm-m, su potencia esta entre 2 a 20m hacia el Sev 4.

- Por debajo del primer horizonte, se tiene la presencia de bloques de roca más compactas correspondientes a lutitas, yesos y bloques de calizas con menor contenido de humedad sus valores de resistividad varían entre 55 a 160 Ohm-m, su potencia varía entre 15 a 30 m.
- El tercer horizonte tiene las mismas características que el primer horizonte con la diferencia de que este se encuentra a mayor profundidad.
- El cuarto horizonte lo conforman grandes bloques de roca compactos y por correlación al mapeo geológico correspondería a areniscas y lutitas fracturadas, sus espesores están de manera irregular habiendo potencias en ciertos sectores de 25 metros, no se pudo determinar su potencia final; sus valores de resistividad se encuentran por encima de los 190 Ohm-m y en algunas profundidades mide valores por encima de los 10,000 Ohm-m.

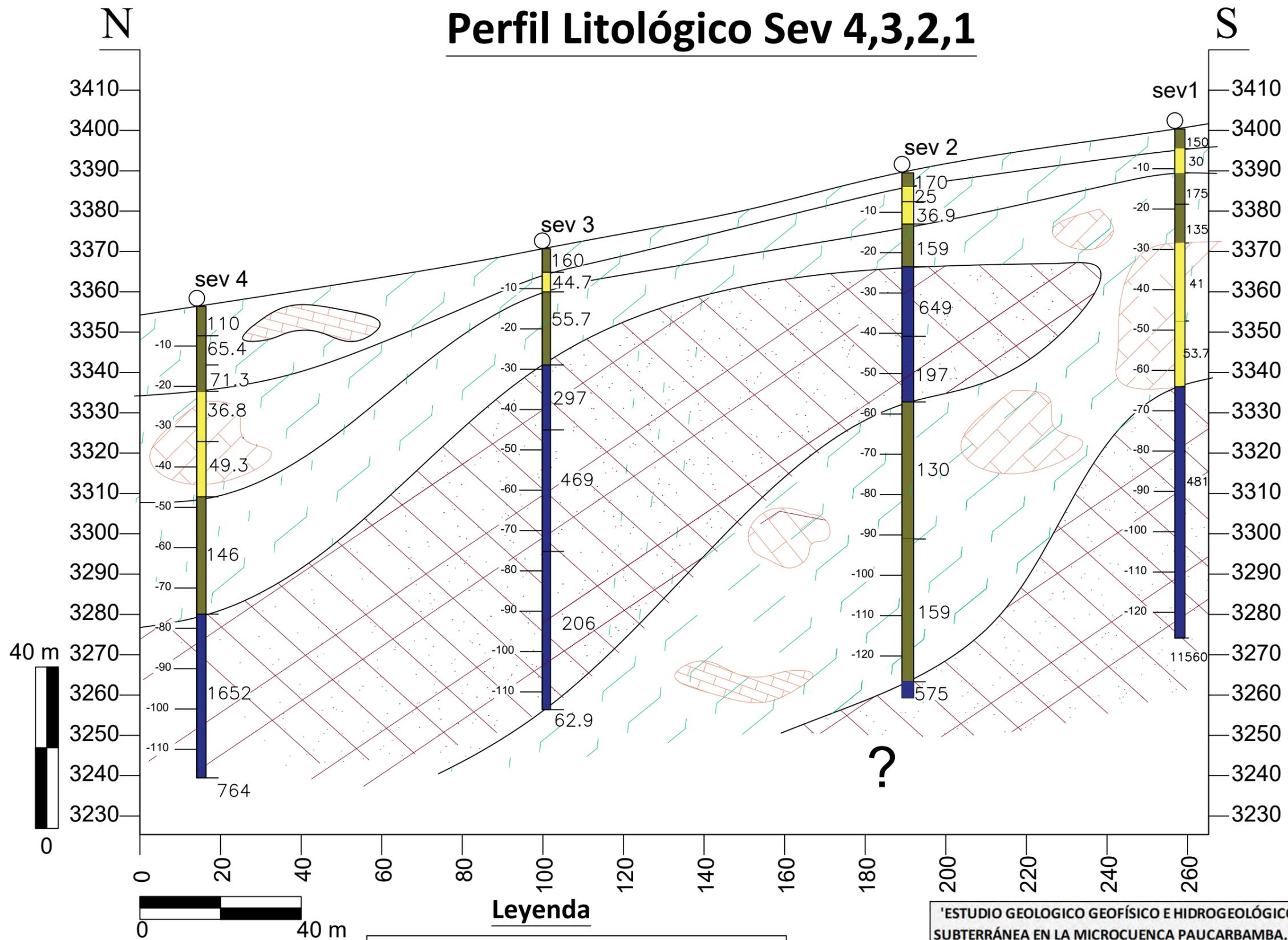
**Figura 106**

*Perfil de pseudoresistividad y de resistividad SEV's 04,03,02 y 01.*



*Nota.* Fuente: Propia a partir de software IPI2WIN.

# Perfil Litológico Sev 4,3,2,1



Escala Horizontal: 1/1000  
Escala Vertical : 1/1000

Leyenda	
	Bloques de caliza y Yesos
	Formación Maras (Yesos, Lutitas, Limolitas deformadas y caoticas)
	Intercalacion de Areniscas y Lutitas fracturadas

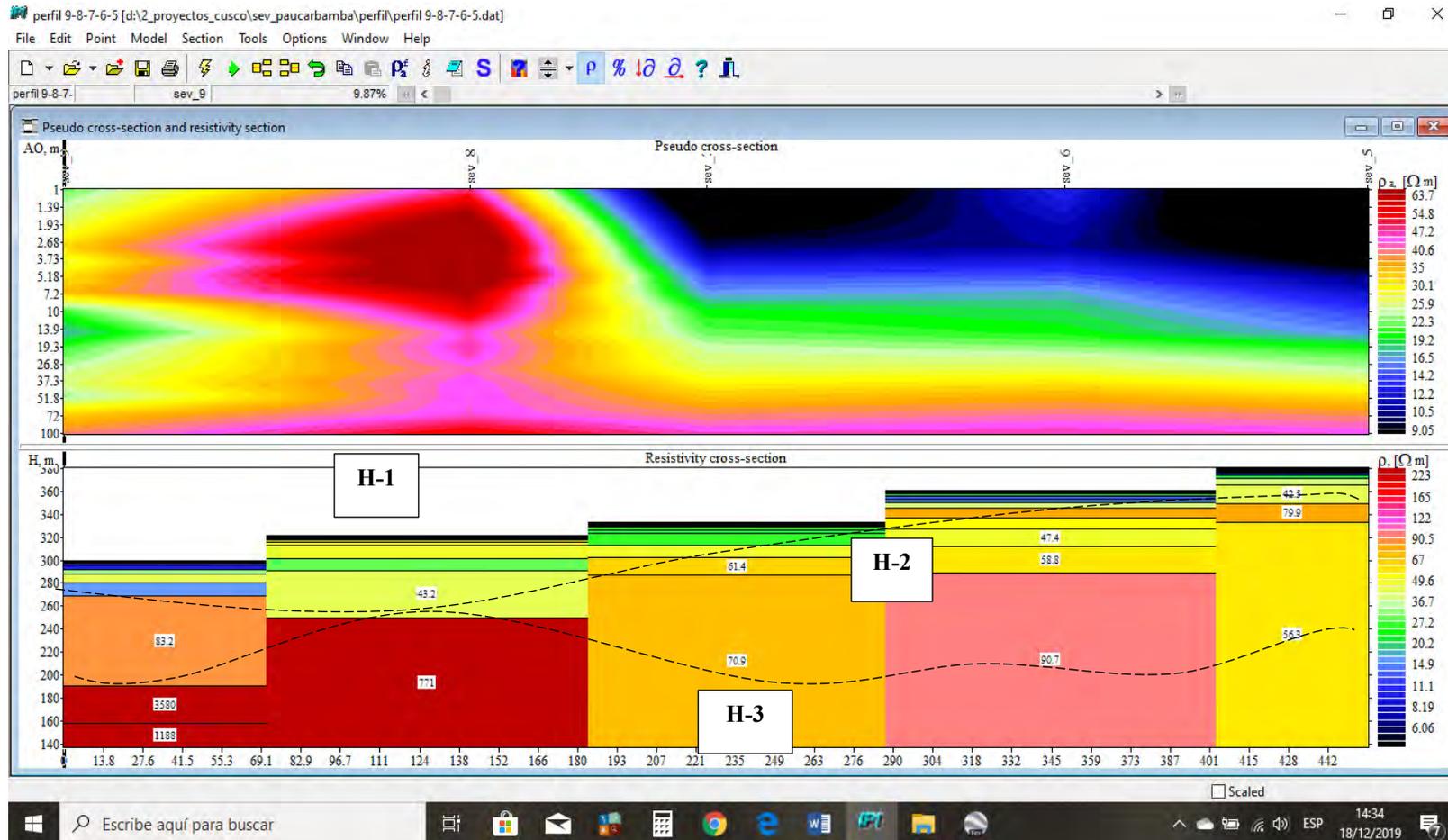
'ESTUDIO GEOLOGICO GEOFISICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DSTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA - CUSCO 2020''			
PERFIL GEOELÉCTRICO SEV 4-3-2-1			
Elaborado por: Bach Cristian Valencia Bach Guido Almanza	Ubicación		
	Departamento: Cusco Provincia: Urubamba Distrito: Maras		
Escala Indicada		Fecha: Marzo del 2023	

#### 3.12.4.9 Perfil Geoeléctrico SEV's: 09, 08, 07, 06 y 05

- Este perfil geoeléctrico se encuentra ubicado en el mismo eje de la quebrada, donde se puede apreciar el afloramiento de aguas subterráneas en forma de pequeños bofedales.
- De acuerdo a la interpretación de los resultados de las pruebas geofísicas y lo observado en campo, se tiene un primer horizonte conformado por material de cobertura compuesto por suelos limosos con fragmentos de areniscas y yesos, a más profundidad se encuentran areniscas, lutitas y yesos; todo este material se encuentra con bastante humedad con valores de resistividad de 15 a 50 Ohm-m, su potencia es variable entre los 15 metros hasta 70 metros aproximadamente, que corresponderían a materiales netamente arcillosos.
- El segundo horizonte está conformado por areniscas, lutitas y yesos, más compactos que el horizonte anterior, sus resistividades varían desde los 50 a 90 Ohm-m y su potencia es variable entre 40 a 80 metros.
- El tercer horizonte corresponde al basamento rocoso conformado por intercalaciones de arenisca y lutitas su resistividad varía desde los 770 a 3580 Ohm-m lo que indica que la humedad es mínima o nula en este horizonte su potencia no fue determinada debido a que esta capa se extiende más allá de los 40 metros.

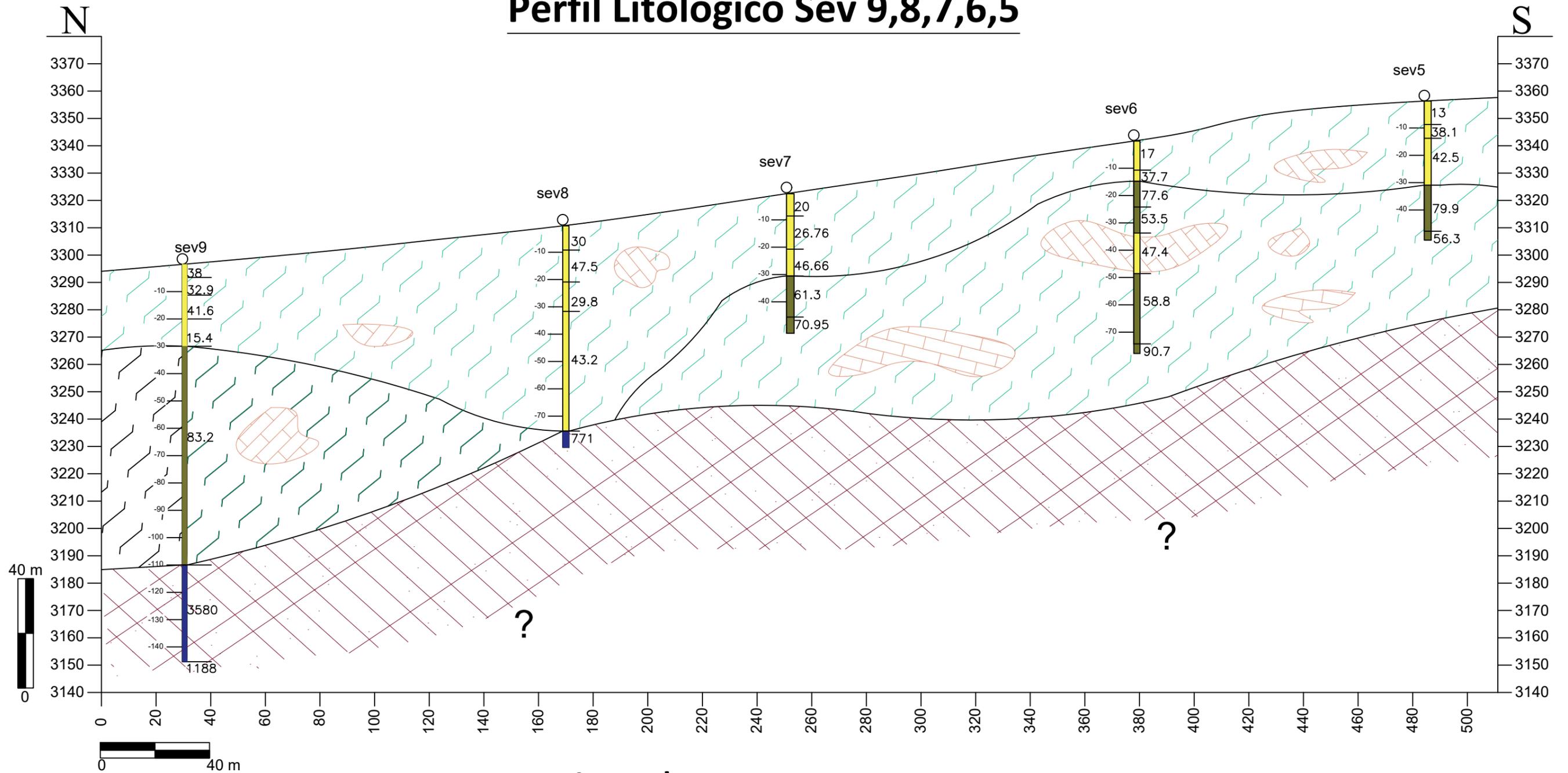
**Figura 107**

*Perfil de pseudo resistividad y de resistividad SEV's 09,08,07,06 y 05*



*Nota.* Fuente: Propia a partir de software IPI2WIN.

# Perfil Litológico Sev 9,8,7,6,5



## Leyenda

- Bloques de caliza y Yesos
- Formación Maras (Yesos, Lutitas, Limolitas deformadas y caóticas)
- Intercalación de Areniscas y Lutitas fracturadas

Escala Horizontal: 1/1500  
Escala Vertical: 1/1500

'ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGÍCO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA - CUSCO 2020''

### PERFIL GEOELÉCTRICO SEV 9-8-7-6-5

Elaborado por:  
Bach Cristian Valencia  
Bach Guido Almanza

Ubicación  
Departamento: Cusco  
Provincia: Urubamba  
Distrito: Maras



**PGF  
02**

Escala Indicada

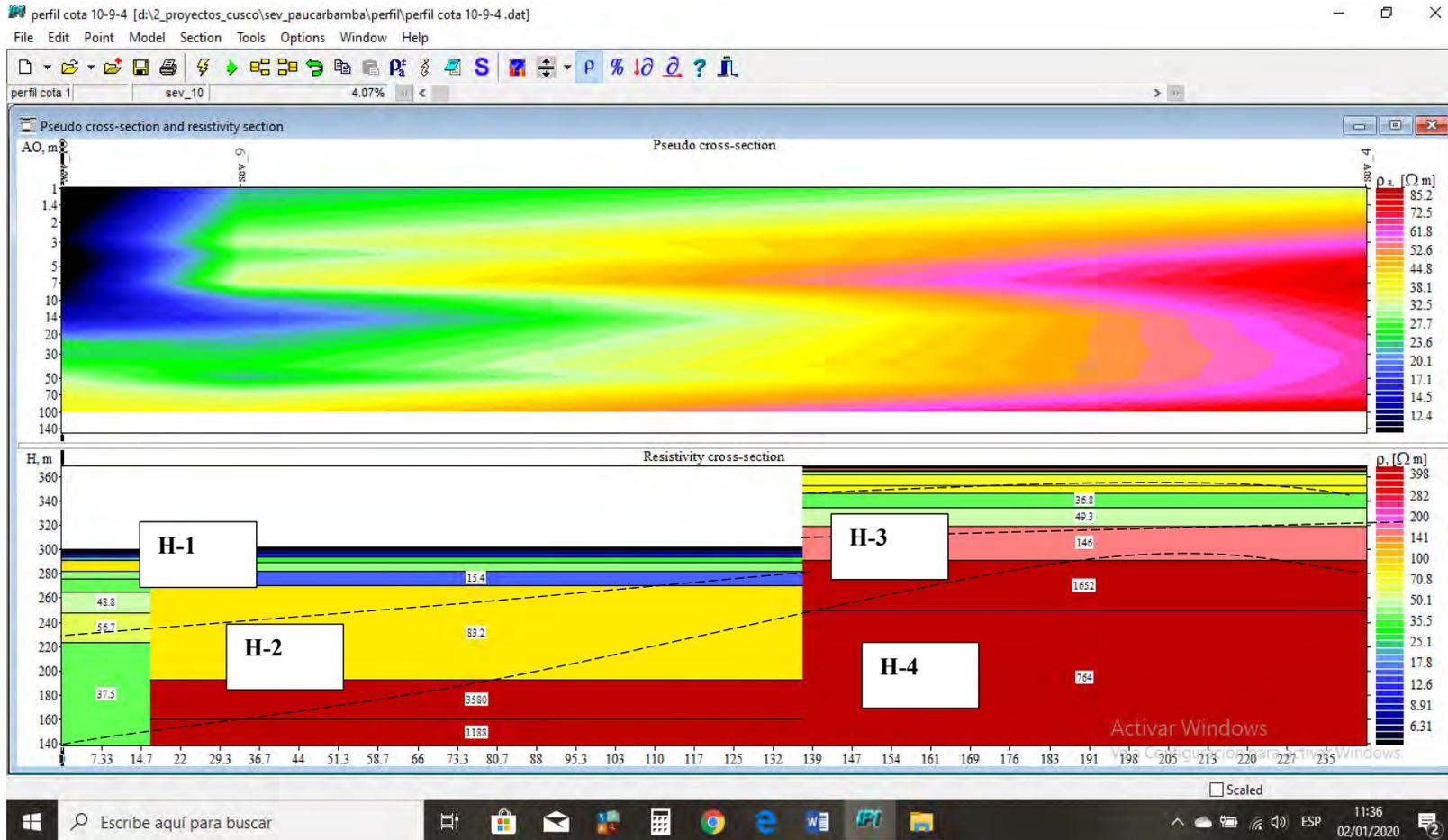
Fecha: Marzo del 2023

### 3.12.4.10 Perfil Geoeléctrico SEV's: 10, 09 y 04.

- El presente perfil se elaboró de manera perpendicular al eje de la quebrada, en la margen derecha, uniendo los SEVs 10, 09 y 04 donde los SEVs 10 y 09 se encuentran en el fondo de la quebrada Paucarbamba y el SEV 4 en la cima hacia el extremo este, existiendo un desnivel entre los SEVs más extremos de casi 100 metros. En el fondo de la quebrada en los SEVs 10 y 09 el material corresponde a suelos coluviales saturados con agua productos de la precipitación y cubiertos por vegetación (pastos, grama) donde discurre agua superficial sin arrastre de material sólido, también se aprecia afloramientos de areniscas y lutitas en las laderas este primer horizonte correspondiente a la parte baja, tiene espesores de 30 a 50 metros sus valores de resistividad varían de 15 a 50 Ohm-m. Siendo este le horizonte objetivo para la perforación de un pozo de exploración de aguas subterráneas.
- Debido a la diferencia de nivel entre los SEVs, en el SEV 04 se nombró como primer horizonte al suelo limo - arcilloso y la mezcla de yesos, calizas y lutitas existentes, este nivel presenta resistividades de 65 a 110 Ohm-m lo que indica un contenido de humedad mínimo y espesor es de aproximadamente 20 metros.
- En el segundo horizonte en la parte baja del perfil corresponde a una intercalación de lutitas fracturadas y areniscas arcósicas sus valores de resistividad varían de 55 a 80 Ohm-m estos valores muestran menor cantidad de presencia de agua en comparación con el primer horizonte de la parte baja su potencia estimada varia de los 40 metros a 80 m aproximadamente.
- El tercer horizonte en la parte alta corresponde a la mezcla caótica de yesos y lutitas con casi nula presencia de humedad sus valores de resistividad son de 146 Ohm-m, su potencia estimada es de 25 metros.
- El cuarto horizonte, lo conforma el basamento rocoso conformado por areniscas y lutitas, muy compactas, por debajo de los 80 metros en la parte superior y por debajo de los 110 metros en la parte baja siguiendo al horizonte dos, sus valores de resistividad se encuentran por encima de los 750 Ohm-m valor que indica la poca existencia de agua en este horizonte.

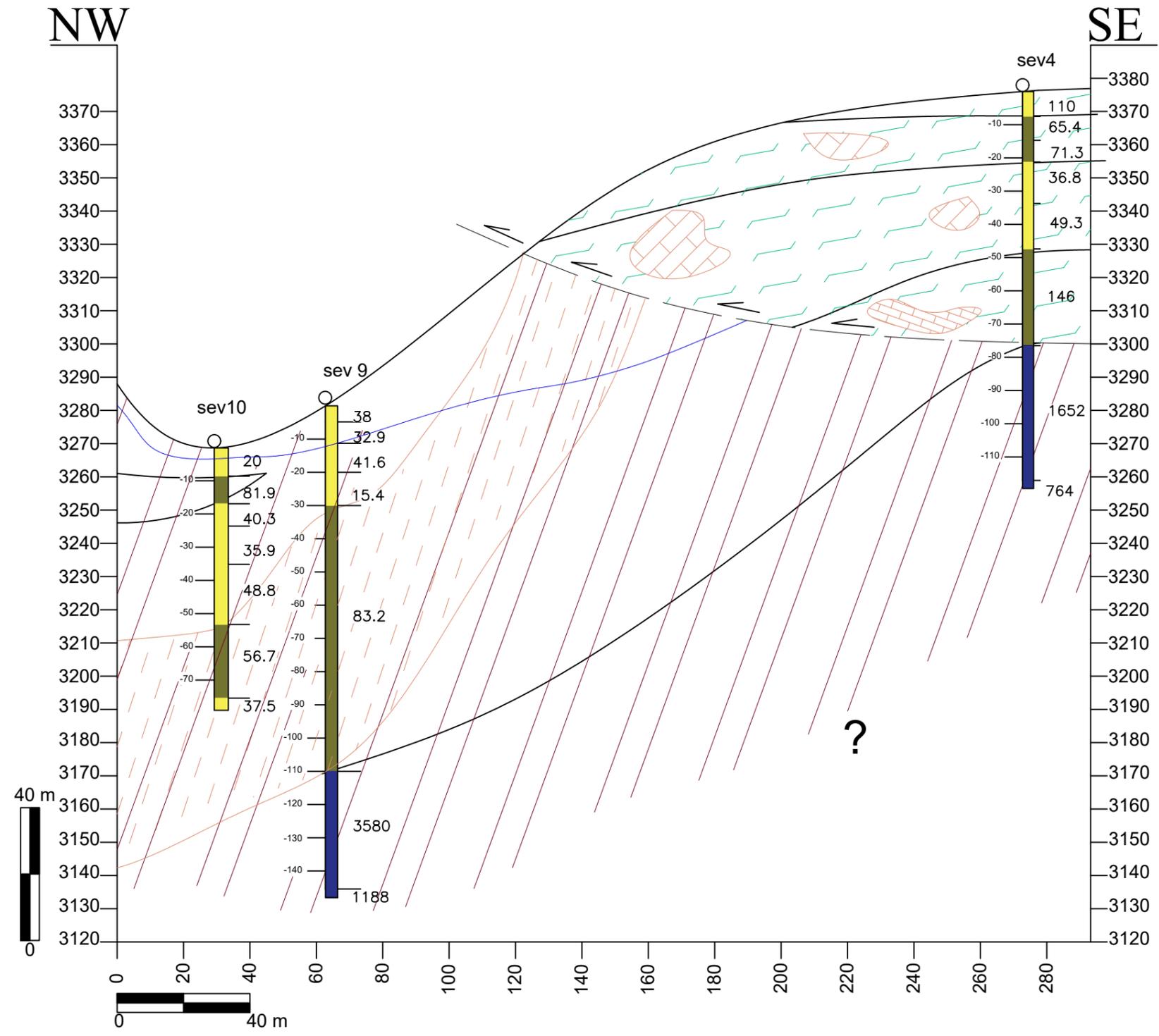
**Figura 108**

*Perfil de pseudoresistividad y de resistividad SEV's 10,09 y 04.*

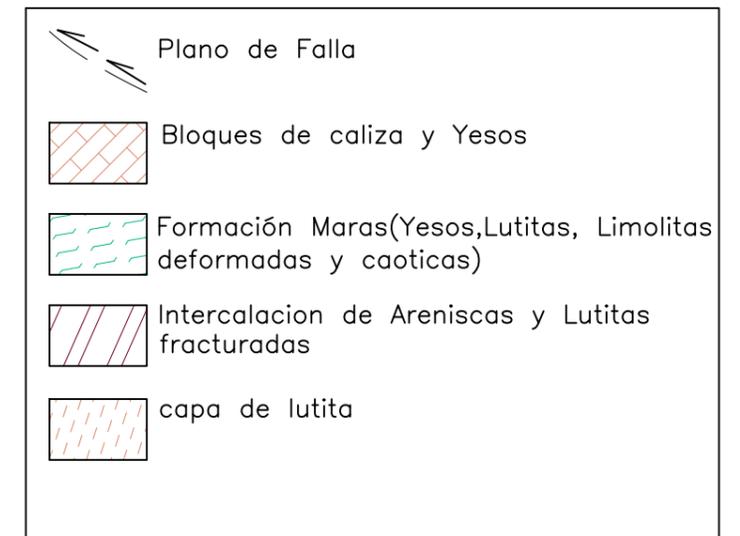


*Nota.* Fuente: Propia a partir de software IPI2WIN.

# Perfil Litológico Sev 10,9,4



## Leyenda



'ESTUDIO GEOLOGICO GEOFÍSICO E HIDROGEOLOGÍCO PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBA, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA - CUSCO 2020''

PERFIL GEOELÉCTRICO SEV 10-9-4

Elaborado por:  
Bach Cristian Valencia  
Bach Guido Almanza

Ubicación  
Departamento: Cusco  
Provincia: Urubamba  
Distrito: Maras



PGF  
03

Escala Indicada

Fecha: Marzo del 2023

Escala Horizontal: 1/1500  
Escala Vertical : 1/1500

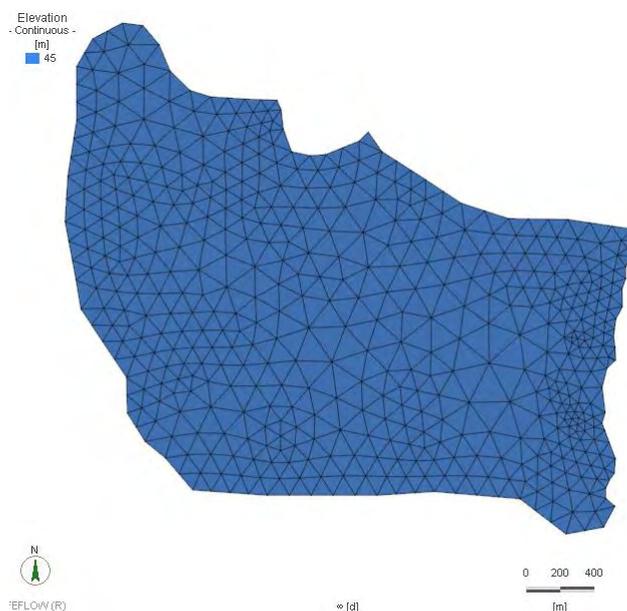
### 3.13 MODELADO NUMÉRICO DE ACUIFERO

Como parte del proceso de gabinete y tratamiento de datos se elaboró un modelo numerico simplificado del principal acuífero fisurado en la parte media-alta de la cuenca en estudio, para lo que se utilizo los softwares de diseño como son el ArcGis y Feflow, asi como su variado interfaz de trabajo y multiple formato de datos.

Se delimito el acuífero fisurado correspondiente a areniscas altamente fracturadas y se procedio a generar un enmallado para una mejor discretizacion de elementos finitos, a lo cual se establecen los principales valores para un adecuado funcionamiento del modelo como son: condiciones de borde para la presion hidraulica o nivel freatico, porosidad, permeabilidad o conductividad, etc; valores hallados en ensayos de campo descritos en los capitulos anteriores.

#### Figura 109

*Malla de elementos finitos de la representación del acuífero fisurado 2D.*

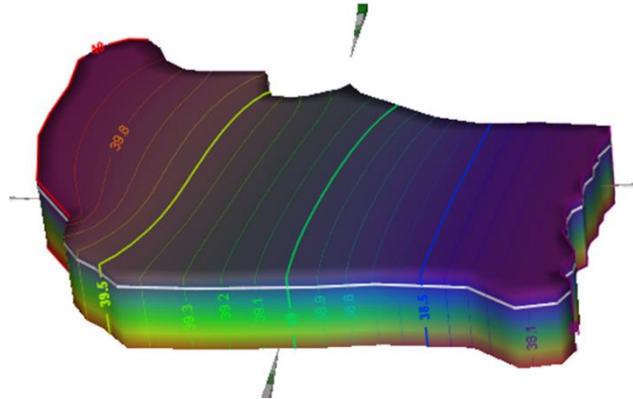


*Nota.* Fuente: Propia a partir de software Feflow.

Teniendo las condiciones necesarias se procedio a generar el modelo numérico de la zona de estudio, teniendo resultados graficos y numericos para un mejor entendimiento de la dinámica del acuífero.

**Figura 110**

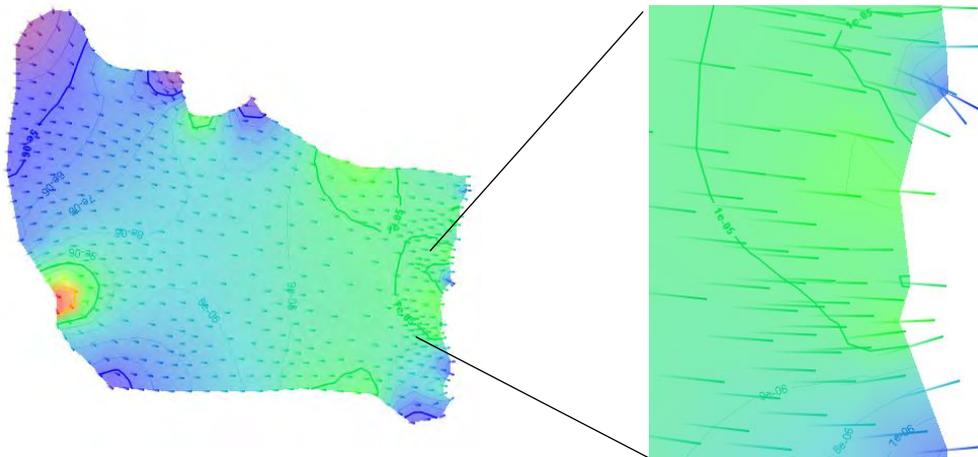
*Gráfico 3D del acuífero, se aprecia el nivel freático y las cargas hidráulicas.*



*Nota.* Fuente: Propia a partir de software Feflow.

**Figura 111**

*Gráfico 3D del acuífero, se aprecia el nivel freático y las cargas hidráulicas.*



*Nota.* Fuente: Propia a partir de software Feflow.

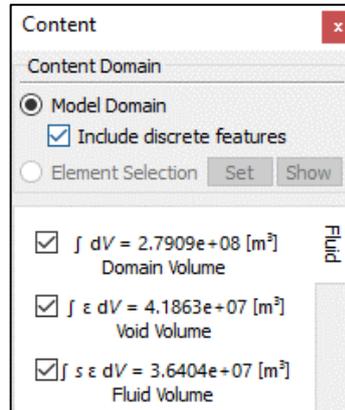
Las figuras 106 muestra resultados gráficos en 3D teniendo una vista donde se presenta el nivel freático, en línea continua blanca, cargas hidráulicas en línea de coloración variable y sus valores de resultado, mientras que la figura 107 representa en entorno 2D las líneas de flujo en el acuífero fisurado con tendencia de dirección noroeste – este.

Como parte del modelado y cálculo de volúmenes el programa muestra valores de volumen total, volumen de vacíos y volumen del agua subterránea teniendo un volumen total de 279 millones

de m<sup>3</sup>, un volumen de vacíos de 41.86 millones de m<sup>3</sup> y un volumen de agua de 36.4 millones de m<sup>3</sup>.

### Figura 112

*Volumen total, volumen de vacíos y volumen de agua calculado por el software.*



*Nota.* Fuente: Propia a partir de software Feflow.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 RESULTADOS

#### *Geomorfología*

Se identificaron un total de 57 unidades geomorfológicas siendo la unidad de Llanura de altiplanicie fluvioacustre agradacional ligeramente inclinado sedimentario de arcillas limos la que ocupa mayor extensión (13.28%) en la zona de estudio lo que representa 143.18 km<sup>2</sup> seguido de la Llanura de altiplanicie fluvioacustre agradacional moderadamente inclinado sedimentario de arcillas limos con una extensión de 12.58% que ocupa el 135.67 km<sup>2</sup> de la cuenca y la unidad de vertiente de colina baja denudacional empinado sedimentaria de areniscas y lutitas el 6.19 % con 66.76 hectáreas, las 54 unidades geomorfológicas tienen una incidencia menor a comparación de las unidades descritas.

#### *Parámetros Geomorfológicos*

##### **Tabla 55**

##### *Elementos de superficie y distancia*

Área	Perímetro	Long. Axial	Ancho Prom.
km <sup>2</sup>	km	km	km
10.79	15.75	5.28	2.17

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Para la cuenca Paucarbamba, se obtuvo un índice de 0.39 lo indica que tiene una forma Oval a rectangular alargada, su índice de compacidad Kc resultó 1.35 lo que indica una forma Oval redonda oblonga con una tendencia a las crecidas de alta a media, el factor de elongación

corresponde a 0.75, el índice de circularidad nos da un valor de 0.74, la comparación de rectángulo equivalente muestra un lado mayor de 6.11 km y el lado menor de 1.77 km.

Dentro de los parámetros de relieve se tiene una altura media de 3396.33 msnm, la descripción de la curva hipsométrica refleja una mediana de altitud de 3481.06 m., con lo que se puede inferir que la cuenca es joven, allanada hacia la parte baja y abrupta hacia la parte alta, según el análisis del histograma de frecuencias el mayor porcentaje de área esta entre las altitudes de 3500 y 3600 m.s.n.m, se obtuvo un tiempo de concentración promedio de 26.39 minutos.

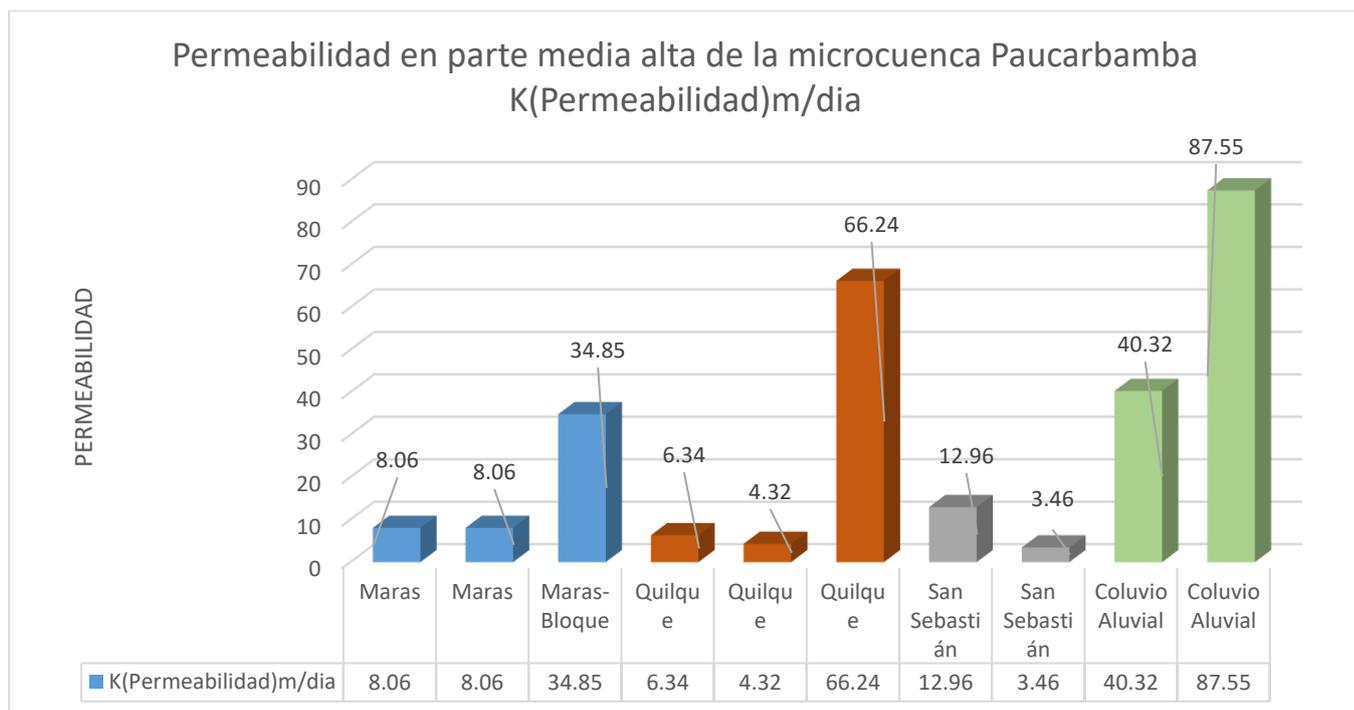
### ***Parámetros hidrológicos***

Se realizó el análisis de datos meteorológicos como la precipitación teniendo información de SENHAMI de las estaciones de K'ayra, Pisac, Calca y Urubamba, se realizó el análisis de la información y tratamiento estadístico mediante el uso de softwares teniendo en cuenta métodos de vector regional, análisis exploratorio – gráfico, análisis de doble masa, análisis de consistencia en la media, consistencia en la desviación estándar y finalmente un proceso de completado y extensión de registros para determinar la precipitación media en la zona de estudio siendo un valor de 509.02 mm al año.

### ***Permeabilidades***

#### **Figura 113**

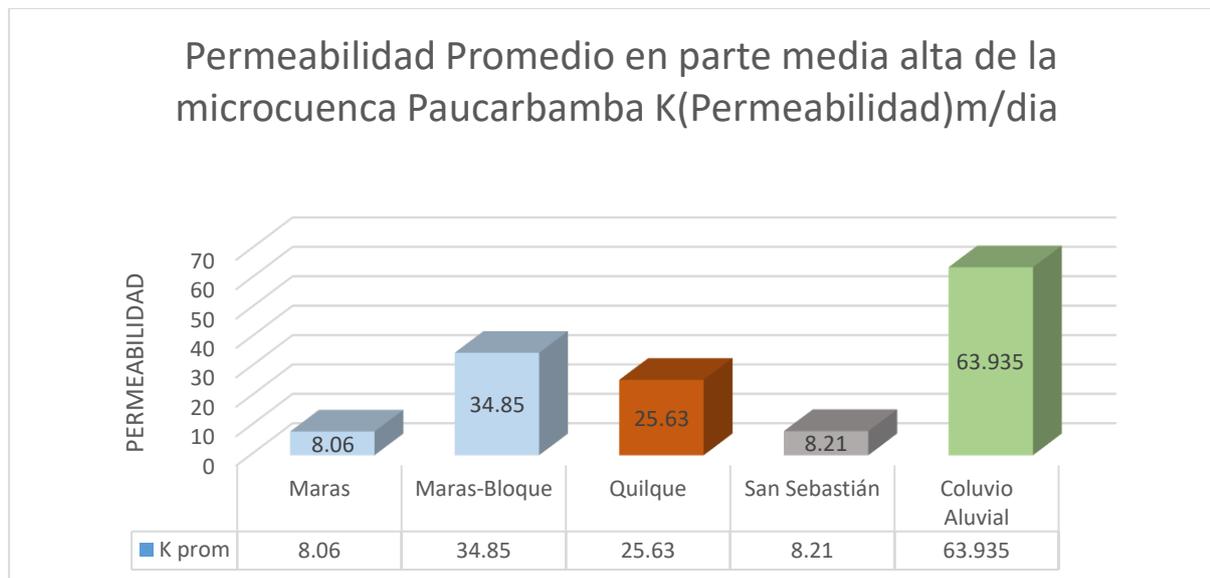
*Permeabilidad en diagrama de Barras*



*Nota:* El diagrama de barras de la permeabilidad de las formaciones presentes en la parte media alta de la cuenca Paucarbamba, evidencia las permeabilidades más altas en los ensayos de la formación coluvio aluvial 87.55 m/día, la formación Maras representa 8.06 m/día y en los bloques de yeso 34.85 m/día incrementando la permeabilidad en esta formación a causa de las fracturas que estos bloques poseen, en lo que refiere a la formación Quilque 6.34 y 4.32 m/día fueron ensayos realizados en los estratos de composición más fina, lutitas, y el valor de permeabilidad 66.24 m/día representa un ensayo hecho en el estrato de arenisca que representa un valor mayor por la porosidad y permeabilidad que las caracteriza.

**Figura 114**

*Permeabilidad Promedio Formaciones Parte Media Alta de Cuenca Paucarbamba*



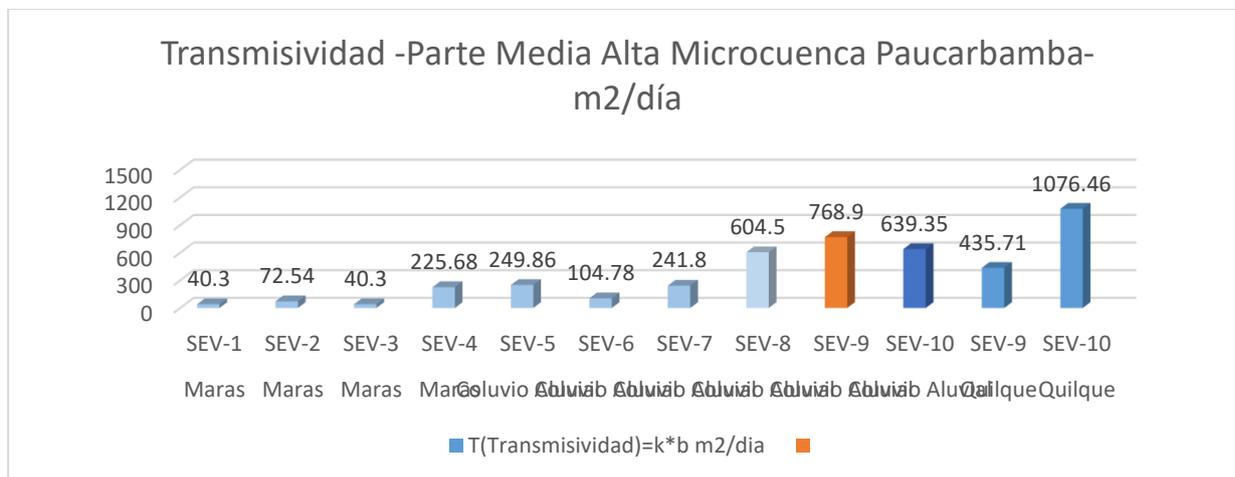
*Nota:* En lo que refiere a las permeabilidades promedio en la parte media alta de la cuenca de Paucarbamba, se observa en la figura 86 que, los depósitos coluvio aluviales con 63.935 m/día representan la permeabilidad más alta en la zona, seguido de formación Quilque con 25.63 m/día, seguidamente formación San Sebastián con 8.21 m/día y por último la formación Maras con 8.06 m/día de permeabilidad.

En lo que respecta al bloque de yeso fracturado en la formación Maras alcanzó una permeabilidad de 34.85 m/día,

**Transmisividades**

**Figura 115**

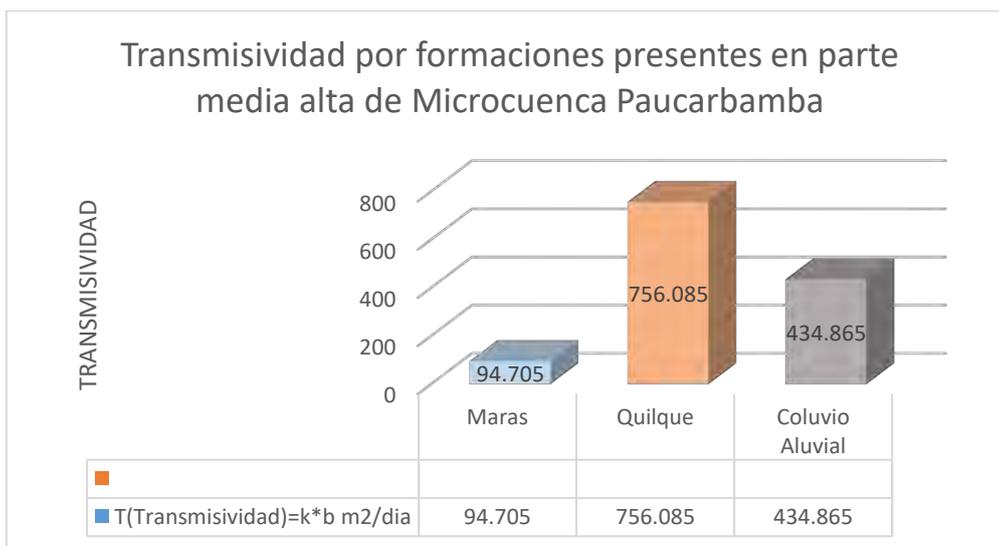
Transmisividades en diagrama de barras acorde a formación en parte media alta de la cuenca Paucarbamba



Nota: Elaboración Propia, la figura 87 muestra las transmisividades de las formaciones presentes en la parte media alta de la cuenca Paucarbamba

**Figura 116**

Transmisividad en promedio de las formaciones presentes en la parte media alta de la Cuenca Paucarbamba



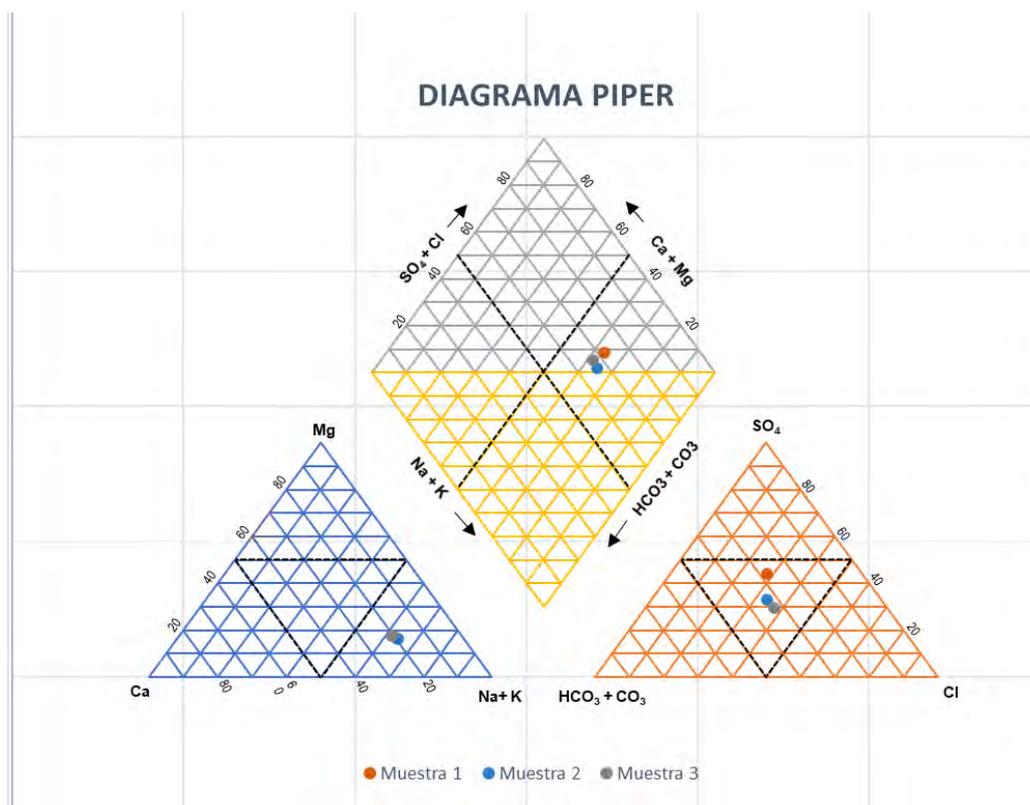
Nota: Las transmisividades de la formación Quilque son mucho mayores que el depósito coluvial y por último la formación Maras, indicándonos que la formación Quilque junto al

depósito coluvial son los mayores acuíferos ya que son capaces de transmitir gran cantidad de agua

### *Hidroquímica*

**Figura 117**

*Diagrama Triangular de composición de agua subterránea muestreada, PIPER*



Según el diagrama anterior el agua de manantial Muestra 1L es Sulfatada Clorurada Sódica ( $SO_4$ -Cl-Na), el agua de manantial Muestra 3L es Clorurada Bicarbonatada Sódica ( $Cl$ - $HCO_3$ -Na) el agua de manantial Muestra 6L también es Clorurada Bicarbonatada Sódica ( $Cl$ - $HCO_3$ -Na). Infiriéndose que el aporte carbonatado proviene de la influencia de la formación Maras con presencia de bloques de calizas en su composición.

### *Modelo Numérico*

Según el del modeladonumerico con software y calculo de volumenes el programa muestra valores de volumen total, volumen de vacios y volumen del agua subterranea teniendo un volumen total de 279 millones de  $m^3$ , un volumen de vacios de 41.86 millones de  $m^3$  y un volumen de agua de 36.4 millones de  $m^3$ .

## 4.2 DISCUSIONES

**La hipótesis general planteada:** El estudio de la geología, geofísica e hidrogeología, de la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, son muy favorables para el almacenamiento de agua subterránea.

Se acepta la hipótesis general, en base al análisis realizado y mostrados sistemáticamente en el documento, a nivel de la geología geofísica e hidrogeología de la presente investigación, las unidades geológicas, geofísicas e hidrogeológicas poseen características muy favorables para el almacenamiento de agua subterránea

En lo que refiere la hipótesis Específica Número. 1 que asevera: “Las características de las unidades geológicas presentes por su litología, su disposición y su fracturamiento son favorables para el almacenamiento de agua subterránea

***Las condiciones geológicas favorables para el almacenamiento del recurso hídrico son las siguientes formaciones de la parte media-alta de la Cuenca Paucarbamba, primero:***

La **Formación Quilque**, compuesta por intercalaciones de Areniscas de Grano grueso medio a Fino y microconglomerado en menor ocurrencia, pertenecen a un medio fluvial de estratificación estratodecreciente, el polo de sedimentación se identificó por dos índices, el primero grietas de desecación y el segundo fue por erosión en los estratos inferiores. Es una formación porosa y fracturada, es decir posee una porosidad singenética y postgenética que coadyuva al almacenamiento del recurso hídrico.

**Formación Rumicolca:** Formación Volcánica del Cuaternario del Pleistoceno, la identificamos como una Andesita. Está dispuesta en la parte superior en la línea divortium de la Cuenca, presenta fracturas producto de la distensión al enfriarse, característica que le confiere excelente porosidad secundaria para almacenar y transmitir agua.

**Depósitos Coluvio Aluviales:** Depósitos del Cuaternario-Holoceno, depósitos subangulosos de Andesitas y Areniscas en una matriz Limos Arcillosa

**Depósitos Aluviales:** Depósitos del Cuaternario-Holoceno, litología sub redondeada a redondeada de Andesitas y Areniscas, forman terrazas amplias en la parte baja de la Cuenca.

En lo que refiere la hipótesis Específica Número. 2 que asevera: “Las características de las unidades hidrogeológicas presentes por su permeabilidad y su transmisividad son favorables para el almacenamiento de agua subterránea”.

En lo que refiere a la **Permeabilidad** se identificó en promedio para cada formación de la parte media-alta de la Cuenca los siguientes valores:

- Formación Maras: 8.06 m/día
- Formación Quilque: 25.63 m/día
- Formación San Sebastián: 8.21 m/día
- Depósitos Coluvio Aluviales: 63.935 m/día

La mayor permeabilidad se observa en los depósitos Coluvio-Aluviales ubicados en el eje de la quebrada de la parte Media-Alta de la Cuenca.

En lo que refiere a **Transmisividad** se identificó en promedio para cada formación de la parte Media-Alta de la Cuenca los siguientes valores:

- Formación Maras: 94.705 m<sup>2</sup>/día
- Formación Quilque: 756.08 m<sup>2</sup>/día
- Depósitos Coluvio Aluviales: 434.865 m<sup>2</sup>/día

Se observa la transmisividad de los Depósitos Coluvio Aluviales con 434.865 m<sup>2</sup>/día, valor que clasifica como buen transmisor de agua subterránea, incluyendo a la Formación Quilque con 756.08m<sup>2</sup>/día como excelente transmisor de agua subterránea.

Las permeabilidades y transmisividades son altos indicativos de la cualidad de los materiales, hidrogeológicamente hablando, es así que las mejores cualidades de permeabilidad y transmisividad se encuentran en el eje de la quebrada de la parte media alta de la cuenca Paucarbamba.

Las unidades Hidrogeológicas identificadas fueron las siguientes:

- Acuíferos: Areniscas Finas, medias y gruesas con Microconglomerados -*Formación Quilque, Depósitos Cuaternarios Coluvio Aluviales, Depósitos Aluviales y Formación Rumicolca.*

- Acuitardos: Lutitas con intercalación de yesos y calizas- *Formación Maras y Formación San Sebastián* por la intercalación de Limos, Arcillas y Arenas.
- Acuicludos: No se identificó dicha unidad hidrogeológica en la Cuenca.
- Acuífugos: No se identificó dicha unidad hidrogeológica, estimamos que se encuentra en el basamento de la Cuenca.

En lo que refiere la hipótesis específica Número. 3 la que asevera: “Las características geofísicas presentes por su conductividad, son favorables para el almacenamiento de agua subterránea”

En la zona de estudio, siendo más exactos en la parte media del eje de la quebrada y en la margen derecha, se elaboró trabajos de prospección geofísica por métodos geoeléctricos por la metodología de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), levantando un total de once sondeos, con la información de los sondeos se elaboraron tres perfiles de resistividad los cuales se analizaron y correlacionaron con los resultados obtenidos en los estudios de geología e hidrogeología, modelando perfiles geoeléctricos.

Según el análisis de los perfiles geoeléctricos se identificaron hasta cuatro horizontes georesistivos, en la mayoría de perfiles, en base a las características de resistividad halladas en campo y procesadas en gabinete. El primer horizonte (horizonte 01) identificado en algunos sectores como suelo limo - arcilloso mezclado con yesos, calizas y lutitas de la formación maras, en el eje de la quebrada corresponde a suelos de origen coluvial saturados con agua producto de la precipitación y cubiertos por vegetación con espesores variables desde los pocos metros en la parte alta hasta los 30-50 metros en la quebrada, las resistividades que se presentan varían desde 15 a 50 Ohm-m.

El horizonte 02 corresponde a lutitas y areniscas arcólicas fracturadas con resistividades de 55 a 80 Ohm-m, estos valores de resistividad son indicativos de la menor presencia de agua a comparación del horizonte 01 en el eje de la quebrada.

El tercer horizonte emplazado en la margen derecha de la quebrada corresponde a la mezcla caótica de yesos y lutitas, presenta resistividades superiores de 145 Ohm-m con una potencia estimada de 25 metros y con casi nula presencia de aguas subterráneas.

El cuarto horizonte conformado por un basamento de areniscas y lutitas muy compactas por debajo de los 80 metros en la parte superior y por debajo de los 110 metros en la parte baja

siguiendo al horizonte dos, sus valores de resistividad se encuentran por encima de los 750 Ohm-m valor que indica la poca existencia de agua en este horizonte.

Según los trabajos de prospección geofísica se establecieron los acuíferos presentes en la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, se tiene un acuífero correspondiente a suelos de origen coluvio-aluvial en el eje de la cuenca Paucarbamba, presenta espesores de 30 a 50 metros con resistividades de 15- 50 Ohm -m.

Según los trabajos efectuados en campo correspondientes al cartografiado geológico y muestreo de manantiales se evidencio la presencia de un acuífero fisurado correspondiente a antiguos depósitos volcánicos de andesitas de la Formación Rumicolca, en la parte alta de la cuenca, este acuífero debe su dinámica a la porosidad secundaria compuesta por fracturas y diaclasas

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### PRIMERA CONCLUSIÓN:

**La hipótesis general planteada:** El estudio de la geología, geofísica e hidrogeología, de la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba, son muy favorables para el almacenamiento de agua subterránea.

Se acepta la hipótesis general, en base al análisis realizado y mostrados sistemáticamente en el documento, a nivel de la geología geofísica e hidrogeología de la presente investigación, las unidades geológicas, geofísicas e hidrogeológicas poseen características muy favorables para el almacenamiento de agua subterránea.

Comentar que en la aseveración “**favorable**” se refiere a las condiciones propias de los materiales geológicos de la cuenca Paucarbamba, entre ellos: direcciones de buzamiento hacia la quebrada, fracturas de los materiales, porosidad primaria-secundaria, permeabilidad de las rocas que reflejan los resultados de la geofísica para la delimitación de los acuíferos.

Las condiciones son favorables para las características intrínsecas de la Cuenca Paucarbamba, y poblaciones aledañas, mas no para Maras que se ubica a una distancia mayor, y también requiere de éste recurso para satisfacer las necesidades de su población.

### SEGUNDA CONCLUSIÓN:

Se acepta la hipótesis Específica Número. 1 que asevera: “Las características de las unidades geológicas presentes por su litología, su disposición y su fracturamiento son favorables para el almacenamiento de agua subterránea

#### *Las condiciones geológicas favorables:*

La **Formación Quilque**, compuesta por intercalaciones de Areniscas de Grano grueso medio a Fino y microconglomerado en menor ocurrencia. Es una formación porosa y fracturada, es decir

posee una porosidad singenética y postgenética que coadyuva al almacenamiento del recurso hídrico. **Formación Rumicolca:** la identificamos como una Andesita. Está dispuesta en la parte superior en la línea divortium de la cuenca, presenta fracturas producto de la distensión al enfriarse, característica que le confiere excelente porosidad secundaria para almacenar y transmitir agua. **Depósitos Coluvio Aluviales:** depósitos subangulosos de Andesitas y Areniscas en una matriz Limos Arcillosa **Depósitos Aluviales:** litología sub redondeada a sub redondeada de Andesitas y Areniscas.

Comentar que en la aseveración “**favorable**” nos referimos a las condiciones propias de los materiales geológicos en la cuenca, las areniscas de la Fm Quilque, con granos de arena y micro conglomerados, disposición de granos subangulosos a angulosos. La formación Rumicolca con sus fracturas distensivas propias de su formación y los depósitos Coluvio Aluviales con su disposición porosa redondeada a sub redondeada.

### **TERCERA CONCLUSIÓN:**

Se acepta la hipótesis Específica Número. 2 que asevera: “Las características de las unidades hidrogeológicas presentes por su permeabilidad y su transmisividad son favorables para el almacenamiento de agua subterránea”.

En lo que refiere a la **Permeabilidad** se identificó en promedio para cada formación de la parte media-alta de la cuenca los siguientes valores: Formación Maras: 8.06 m/día, Formación Quilque: 25.63 m/día, Formación San Sebastián: 8.21 m/día, depósitos Coluvio Aluviales: 63.935 m/día La mayor permeabilidad se observa en los depósitos Coluvio-Aluviales ubicados en el eje de la quebrada de la parte Media-Alta de la cuenca.

Se observa la **transmisividad** de los Depósitos Coluvio Aluviales con 434.865 m<sup>2</sup>/día, valor que clasifica como buen transmisor de agua subterránea, incluyendo a la Formación Quilque con 756.08m<sup>2</sup>/día como excelente transmisor de agua subterránea. Las permeabilidades y transmisividades son altos indicativos de la cualidad de los materiales, hidrogeológicamente hablando, es así que las mejores cualidades de permeabilidad y transmisividad se encuentran en el eje de la Cuenca de la parte media alta de la Cuenca Paucarbamba.

Comentar que en la aseveración **“favorable”** los indicadores de permeabilidad Coluvio Aluviales: 63.935 m/día y Transmisividad 434.865 m<sup>2</sup>/día; Formación Quilque 25.63 m/día y transmisividad de 756.08m<sup>2</sup>/día.

#### **CUARTA CONCLUSIÓN:**

Se acepta la hipótesis específica Número. 3 la que asevera: “Las características geofísicas presentes son favorables para el almacenamiento de agua subterránea”

Según el análisis de los perfiles geo eléctricos se identificaron hasta cuatro horizontes georesistivos.

El primer horizonte (horizonte 01) identificado en algunos sectores como suelo limo - arcilloso mezclado con yesos, calizas y lutitas de la formación maras, en el eje de la quebrada corresponde a suelos de origen coluvial saturados con agua, en la parte alta hasta los 30-50 metros en la quebrada, las resistividades que se presentan varían desde 15 a 50 Ohm-m.

El segundo horizonte (horizonte 02) corresponde a lutitas y areniscas arcólicas fracturadas con resistividades de 55 a 80 Ohm-m, estos valores de resistividad son indicativos de la menor presencia de agua a comparación del horizonte 01 en el eje de la quebrada.

El tercer horizonte (horizonte 03) emplazado en la margen derecha de la quebrada corresponde a la mezcla caótica de yesos y lutitas, presenta resistividades superiores de 145 Ohm-m con una potencia estimada de 25 metros y con casi nula presencia de aguas subterráneas.

El cuarto horizonte (horizonte 04) conformado por un basamento de areniscas y lutitas muy compactas por debajo de los 80 metros en la parte superior y por debajo de los 110 metros en la parte baja siguiendo al horizonte dos, sus valores de resistividad se encuentran por encima de los 750 Ohm-m valor que indica la poca existencia de agua en este horizonte.

Según los trabajos de prospección geofísica se establecieron los acuíferos presentes en la parte media - alta de la Cuenca Paucarbamba, se tiene un acuífero correspondiente a suelos de origen coluvio-aluvial en el eje de la Cuenca Paucarbamba, presenta espesores de 30 a 50 metros con resistividades de 15- 50 Ohm -m.

Comentar que en la aseveración “**favorable**” puesto que la resistividad observada es óptima en el eje de la Cuenca Paucarbamba, ésta fluctúa entre 15-50 Ohm-m, presentando espesores de 30 a 50 metros.

## RECOMENDACIONES

- Recomendamos extender el estudio de los acuíferos en posteriores trabajos de investigación a través de sev's y tomografías eléctricas en las partes altas de la quebrada, así como en el extremo oeste de la Cuenca con el fin de obtener amplitud de información y proponer zonas y métodos de recarga artificial de los acuíferos,
- Recomendamos realizar perforación de pozos en los acuíferos identificados con el fin de determinar características físicas, geológicas, hidrogeológicas de los materiales que constituyen a estas unidades hidrogeológicas.
- Recomendamos realizar un estudio hidroquímico para el consumo de las comunidades aledañas, nos referimos a consumo humano.
- Se recomienda entender que el presente estudio es Indirecto por tanto existe la probabilidad gracias a la ayuda de los ensayos indirectos de obtener el volumen mencionado, mas no nos otorga con certeza completa la cantidad de volumen a extraer.

## Referencias

- Apaza Rojas, R. M., & Huaman Quispe, O. (2019). Estudio hidrogeológico con fines de determinar el potencial hídrico en la cuenca de Cachimayo dist. Santiago, prov. Cusco, reg. Cusco – 2019. *(Tesis para optar el título de Ingeniero)*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- ARIAS, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*.
- Blas Herrera, V. M., & Canahuiri Cruz, A. R. (2018). “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA RECARGA DE ACUÍFEROS EN LA MICROCUENCA TAMBUQUE, DISTRITO PARURO, REGION CUSCO - 2018”. *(Tesis para optar al título)*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- Calderon Yopez, K. A., & Quillahuaman Muñoz, C. (2019). “Estudio hidrogeológico de las microcuencas Santo Domingo – Acopia y Huayrachapi – Miskiunu, en el distrito de Acopia, Acomayo, Cusco - 2019”. *(Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo)*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- Carlotto , V., Cardenas , J., Chávez, R., & Gil, W. (1995). Sedimentología de la Formación Huancané (Neocomiano) de la región de Cusco y su relación con las variaciones del nivel del mar. *Bulletin Institut français*, p. 1-21.
- Carlotto , V., Gil, W., Cardenas , J., & Chávez , R. (1996). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. *INGEMMET Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, p. 65, 245.
- Carlotto , V., Jaillard , E., & Mascle , G. (1992). Relación entre sedimentación, paleogeografía y tectónica en la región de Cusco (sur del Perú) entre el Jurásico superior - Paleoceno. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, p. 1-20.

- Carlotto, V., Cárdenas, J., Chávez, R., Gil, W., Jaillard, E., & Carlier, G. (1991). Estratigrafía de la Formación Huambutío (Kimmeridgiano-Berriasiano) Cusco-Perú. *Sociedad Geológica del Perú*, p. 591-597.
- Carlotto, V., Cardénas, J., & Carlier, G. (2011). Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p. 6.
- Collazo Caraballo, M. P., & Montaña Xavier, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea* (Primera ed.). Montevideo, Uruguay : Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1976). *Hidrología Subterránea* (Vol. 1ª edición). Barcelona: Ed. Ediciones Omega S.A.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología Subterránea* (Segunda edición ed., Vol. Tomo I). Barcelona: Ediciones Omega.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, & Baptista Lucio. (2014). *Metodología de la Investigación Sexta Edición*. Mexico.
- HERNANDEZ, S. R. (2010). *Metodología de la Investigación*.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisberbert, J. (2005). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.
- Jiménez Reyes, R., & Rodríguez Cruz, E. (2013). GEOFÍSICA APLICADA A LA BÚSQUEDA DE AGUA SUBTERRÁNEA EN DEPOSITOS ALUVIALES. CASO DE ESTUDIO ARENAS ALGABA. V CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS'2013(GEF2-01), 1-8. Obtenido de [http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2013\\_Jimenez\\_Reyes\\_GEF2-O1.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2013_Jimenez_Reyes_GEF2-O1.pdf)
- Lizano Mera, B. N. (2018). "Exploración hidrogeológica para aprovechamiento de agua subterránea en el predio de la asociación los libertadores, distrito de Castilla, Provincia y

- departamento de Piura - Perú”. (*Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo*).  
Universidad Nacional de Piura, Piura.
- Llamas, M. R. (1996). *Hidrología subterránea*. Omega.
- Lozano Ventura, C. M., & Antón Quiroz, E. O. (2021). “Disponibilidad hídrica subterránea con fines de riego en el fundo Nuevo Miraflores, sector Tierra Rajada, distrito de Olmos, provincia y departamento de Lambayeque”. (*Tesis para optar el título de Ingeniero*).  
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
- Lulichac, F. (2015). *Determinación de las propiedades físico mecánicas de unidades de albañilería en la Provincia de Cajamarca*. . Cajamarca-Perú.
- Martínez Alfaro, P. E., Martínez Santos, P., & Castaño Castaño, S. (2006). *Fundamentos de la Hidrogeología*. Madrid, España: Ediciones Mundi\_Prensa.
- Mendivil , S., & Dávila , D. (1994). Geología de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 52,115 p.
- Mijailov, L. (1989). *Hidrogeología*. Moscú, Rusia: Mir.
- OLAZABAL, K. y. (2019). *Análisis Comparativo de las Propiedades Físico – Mecánicas del Adobe estabilizado con Cemento y Mucilago de Gigantón Fabricado según la Norma E-0.80, comparado con el Adobe Tradicional del Distrito de San Jerónimo de la Región de Cusco*. Universidad Andina del Cusco, Cusco.
- Peña Laureano, F., Sanchez Diaz, M., & Pari Pinto , W. (2010). *Hidrogeología de la Cuenca del río Ica* (Serie H ed., Vol. Número 3). Lima, Perú: INGEMMET.
- PEREZ LIMACHE, I. (2011). “DETERMINACION DE AREAS FAVORABLES PARA LA PERFORACION DE POZOS DE AGUA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES, SANTIAGO DE HUARI -

ORURO". *TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIADO EN INGENIERIA GEOLOGICA*. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES, LA PAZ.

Pinder , G. F., & Celia, M. A. (2006). *Subsurface hidrology*. Nueva Jersey: Wiley Interscience.

Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física*. Prentice Hall.

Sánchez San Román, F. J. (27 de Diciembre de 2012). *Hidrología - Hidrogeología*. Salamanca: Departamento de Geología.

Tóth, J. (1995). *Hidraulic continuity in large sedimentary bassins*. *Hidrogeology Journal* .

Vélez Otálvaro, M. V. (1999). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Medellín: Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia.

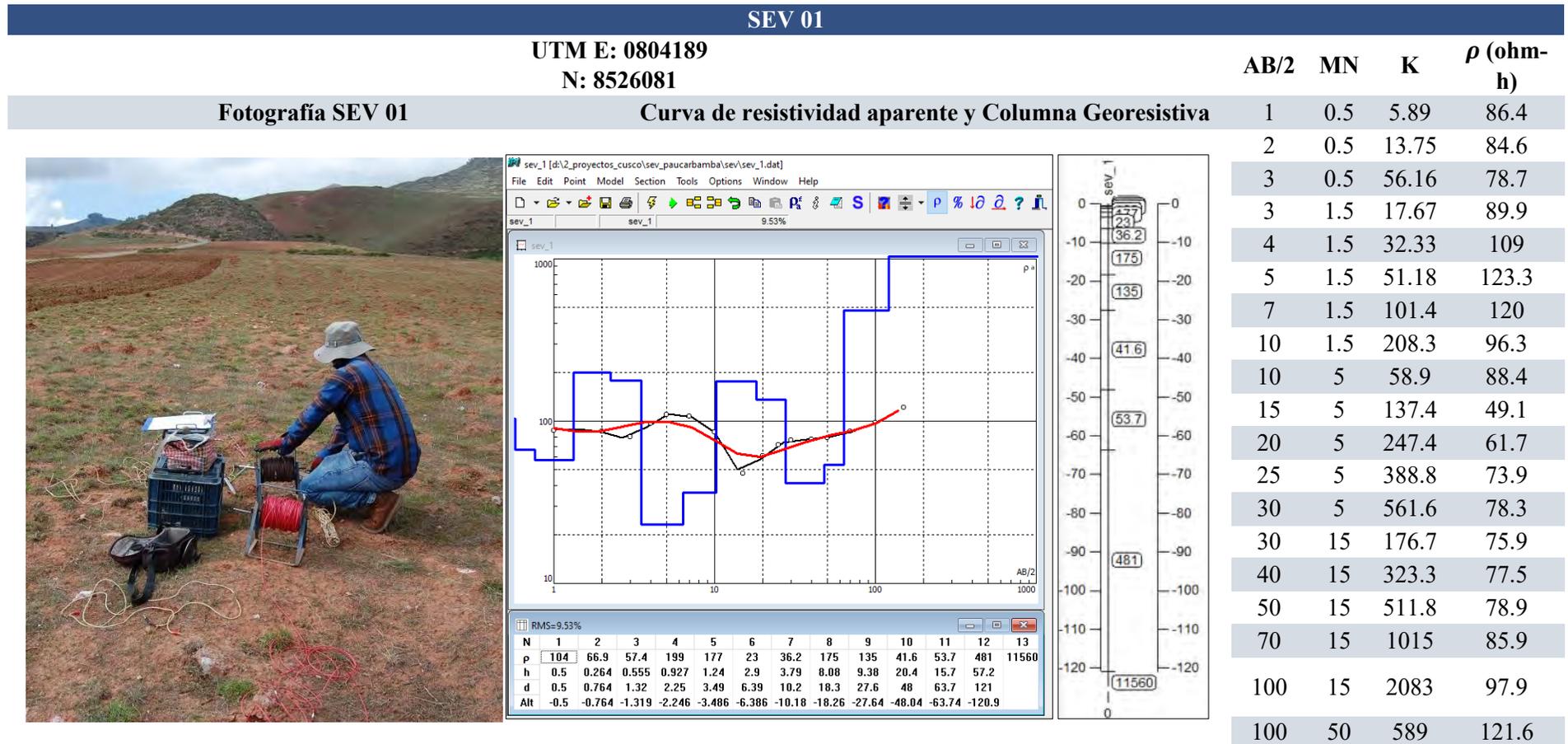
Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología*. Cartago: Instituto tecnológico de Costarica - Escuela de Ingeniería Agrícola.

Villota, H. (2005). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*.

Werner, J. (1996). *Introducción a la Hidrología*. Linares Nuevo León, México: Universidad Autónoma Nuevo León Facultad de Ciencias de la Tierra.

## **Anexos**

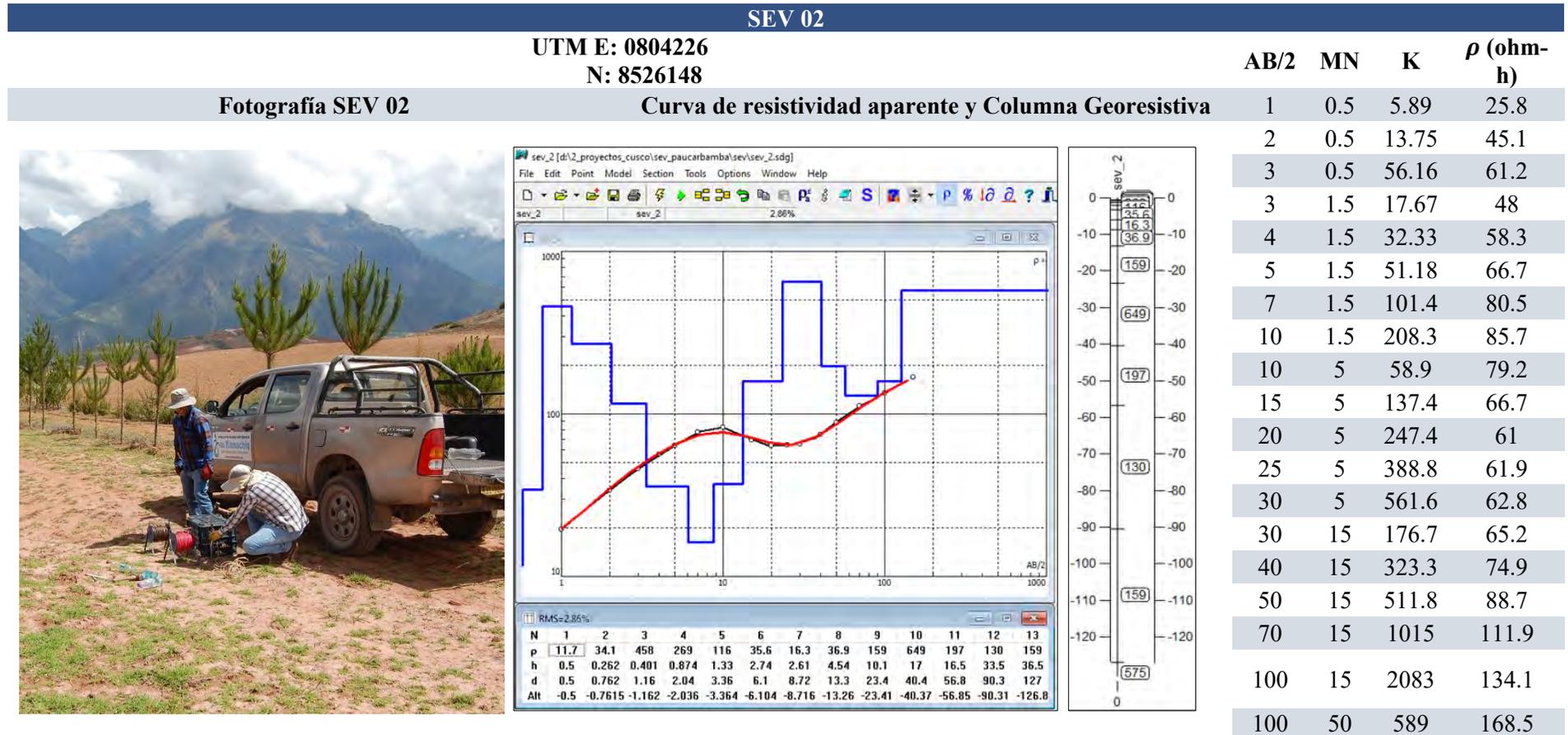
Tabla 56 Formato SEV 01



**Descripción:** Sev ubicado al extremo este de la zona de estudio, el terreno presenta un relieve allanado perteneciente a la altiplanicie fluviolacustre, existe escasa vegetación correspondiente a pastos y pajas de la región, la fotografía muestra los equipos empleados para el sondeo eléctrico vertical.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

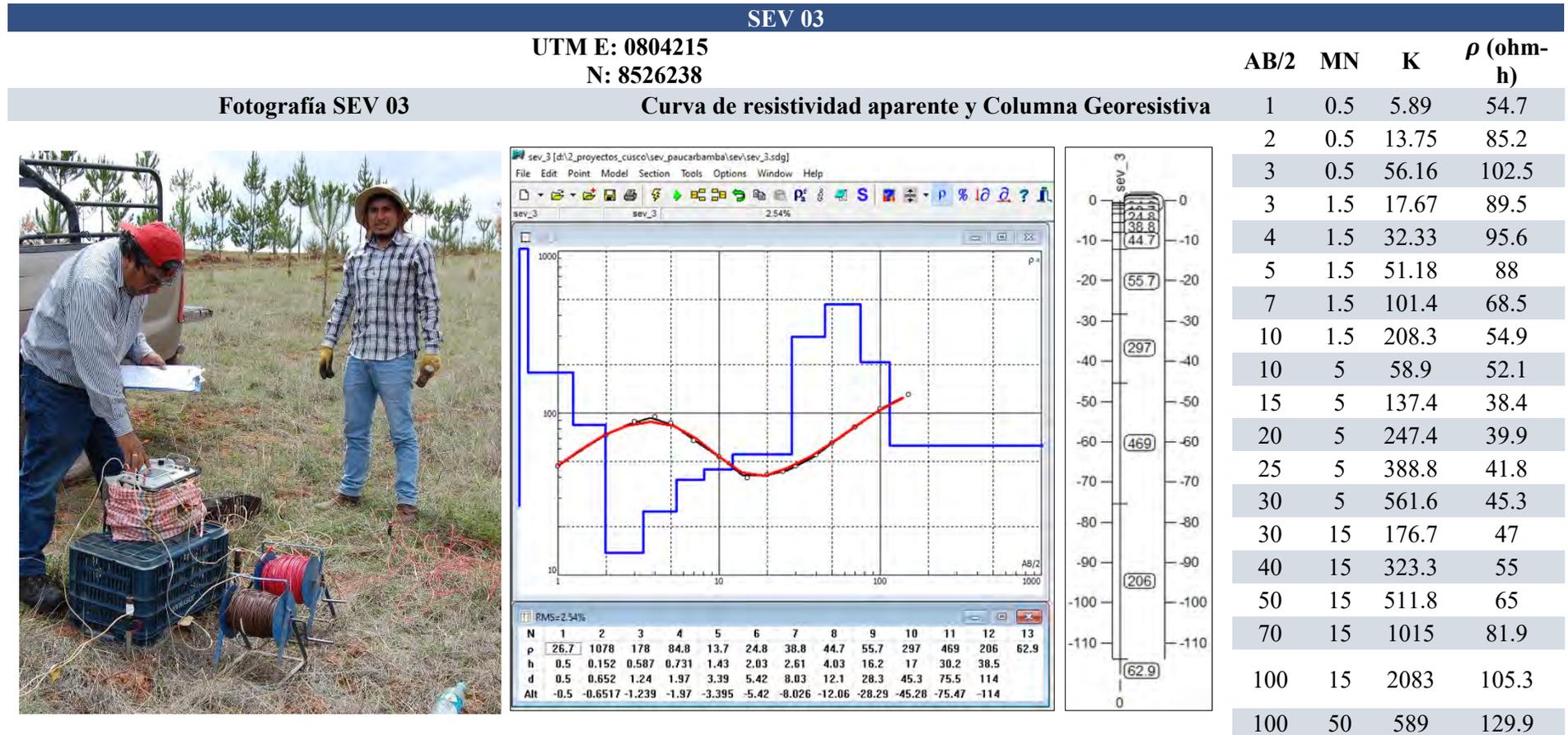
Tabla 57 Formato SEV 02



**Descripción:** Sev ubicado al extremo este a 70 metros al norte del SEV 01, el terreno presenta un relieve llano a ligeramente inclinado perteneciente a la altiplanicie fluviolacustre, existe escasa vegetación correspondiente a pastos y pajas de la región además de árboles de pino en crecimiento que demarcan los límites de caminos y propiedades, se observa la instalación de los electrodos MN para los trabajos de sondeo eléctrico vertical.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

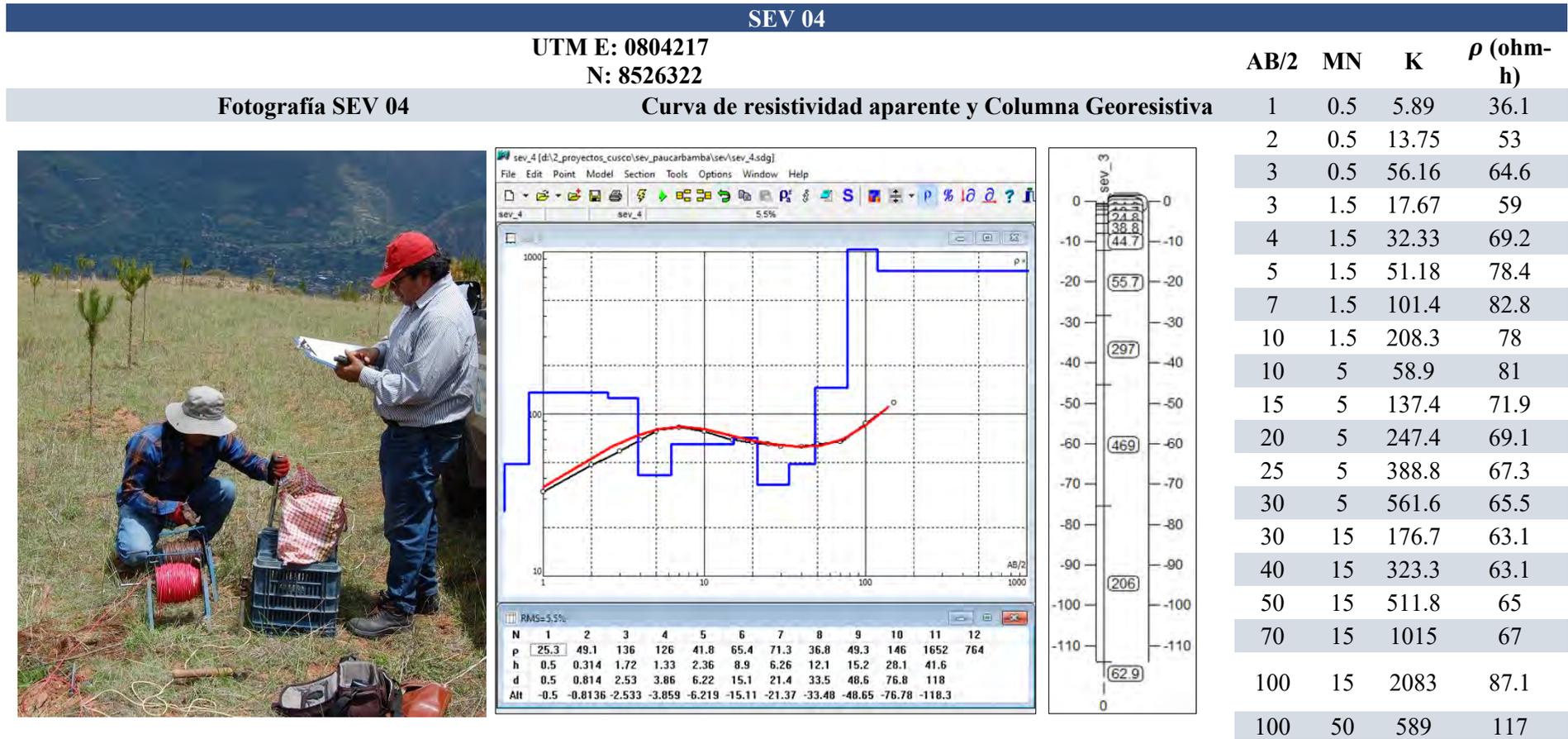
Tabla 58 Formato SEV 03



**Descripción:** Sev ubicado al extremo este a 90 metros al norte del SEV 02, el terreno presenta un relieve ligeramente inclinado a inclinado perteneciente a la altiplanicie fluviolacustre, la vegetación corresponde a pastos y pajas de la región además de árboles de pino en crecimiento, la fotografía muestra la programación del resistivímetro para levantamiento de información geofísica.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

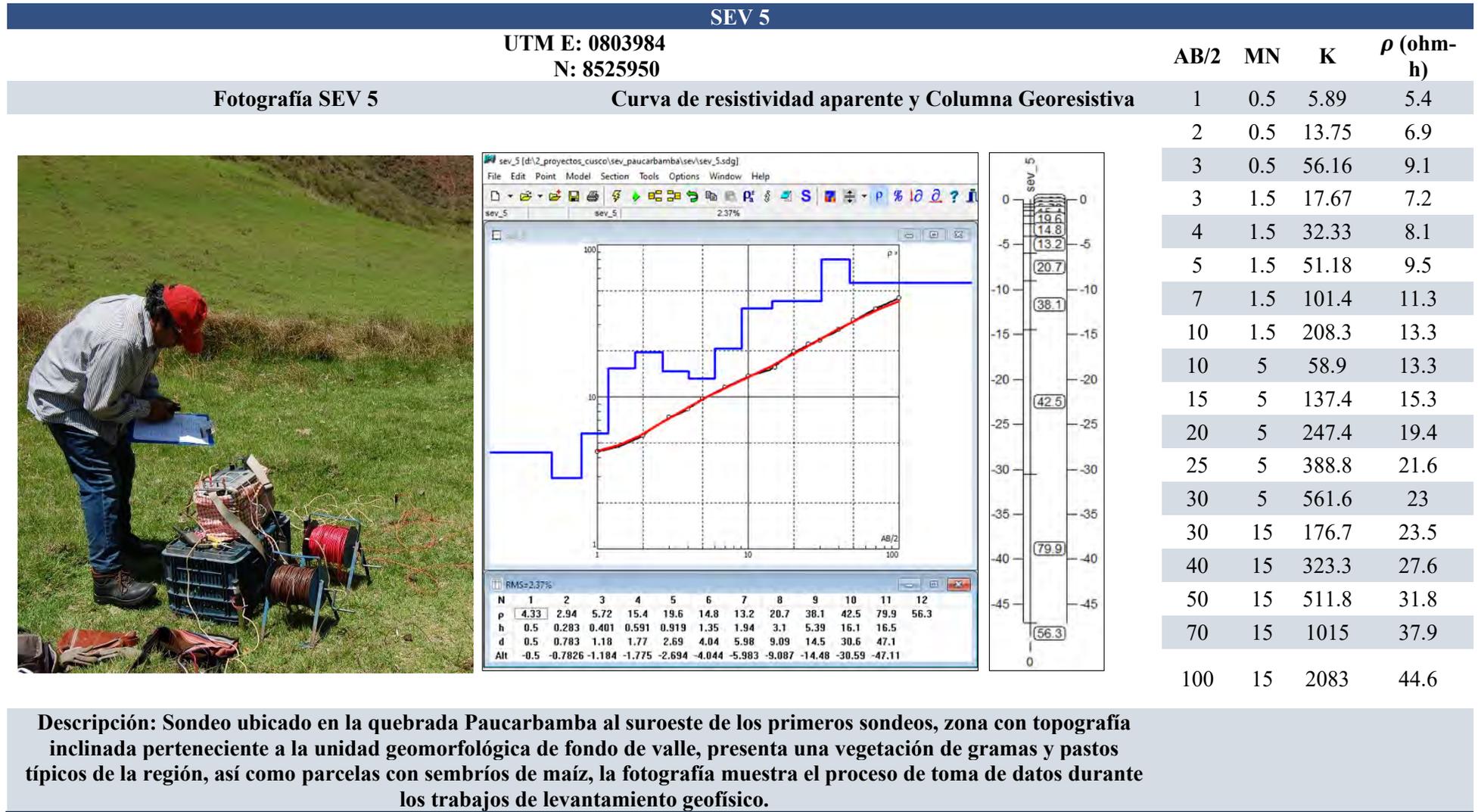
Tabla 59 Formato SEV 04



**Descripción:** Sev ubicado al extremo este a 90 metros al norte del SEV 03, el terreno presenta un relieve inclinado perteneciente a la altiplanicie fluviolacustre, la vegetación corresponde a pastos y pajas de la región además de árboles de pino en crecimiento, se observa la instalación de los componentes para la toma de datos.

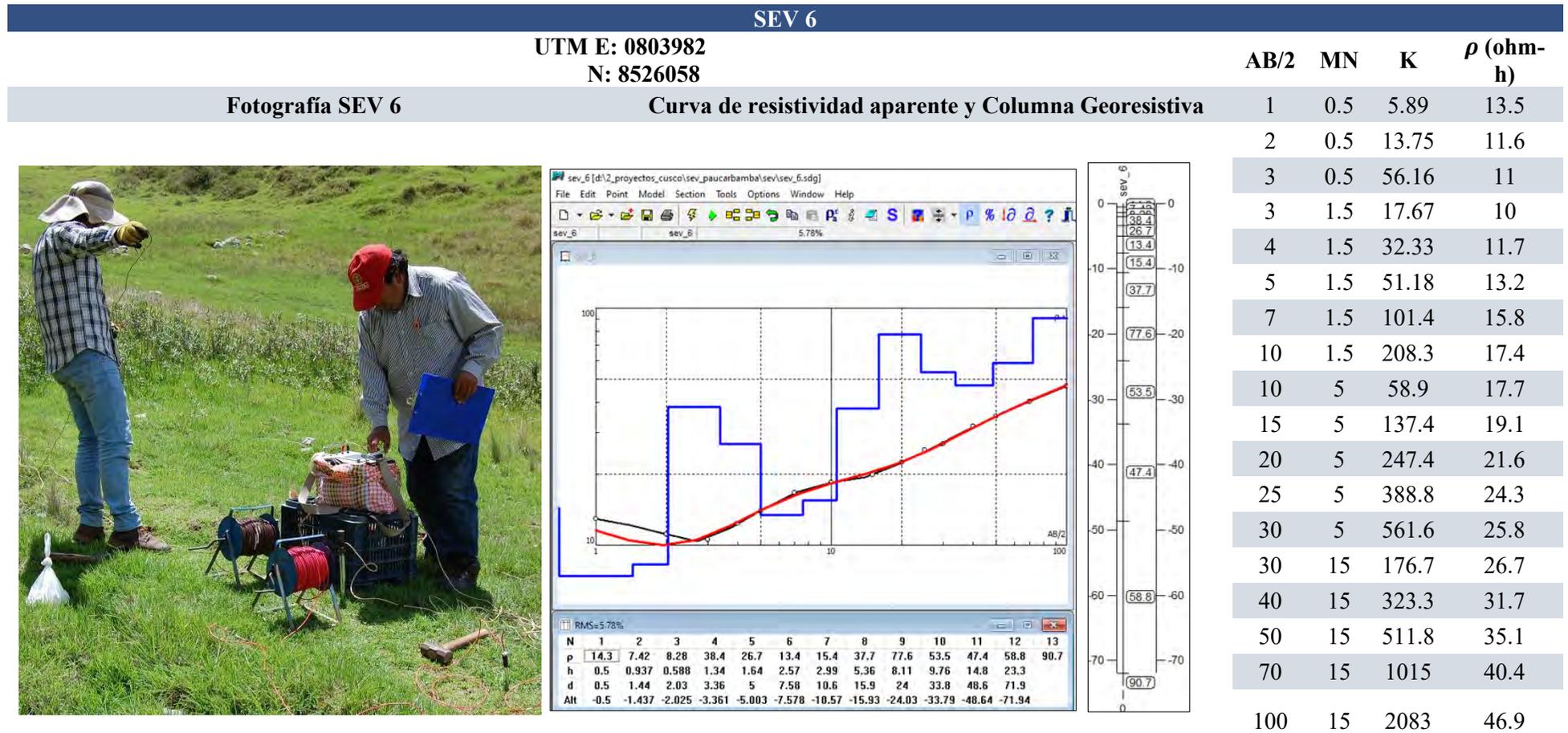
*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

Tabla 60 Formato SEV 05



Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

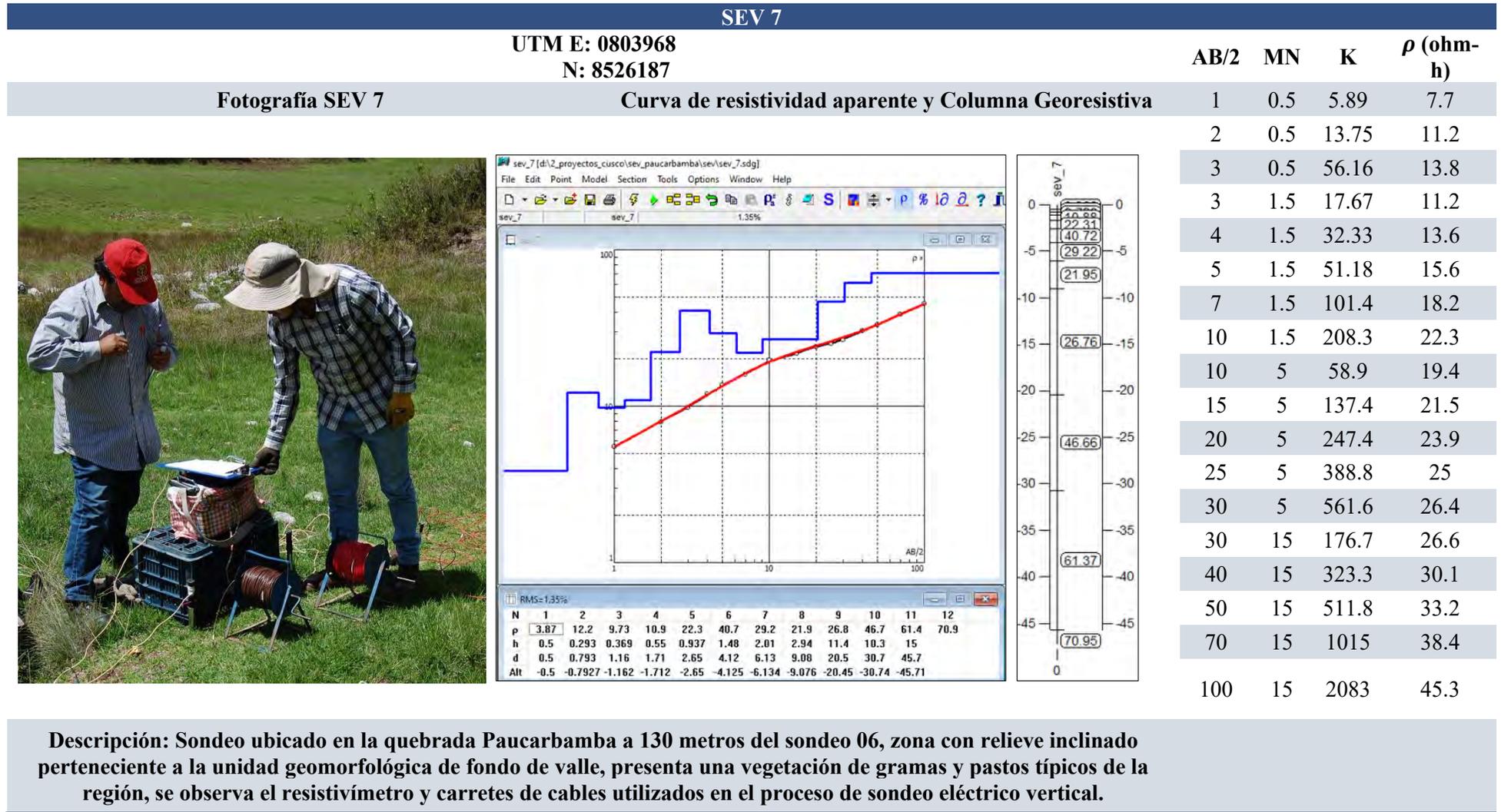
Tabla 61 Formato SEV 06



**Descripción:** Sondeo ubicado en la quebrada Paucarbamba a 105 metros del sondeo 05, zona con relieve inclinada perteneciente a la unidad geomorfológica de fondo de valle, presenta una vegetación de gramas y pastos típicos de la región, la fotografía muestra el proceso de extensión de conductores (cables) y programación de equipos para los trabajos de prospección geofísica.

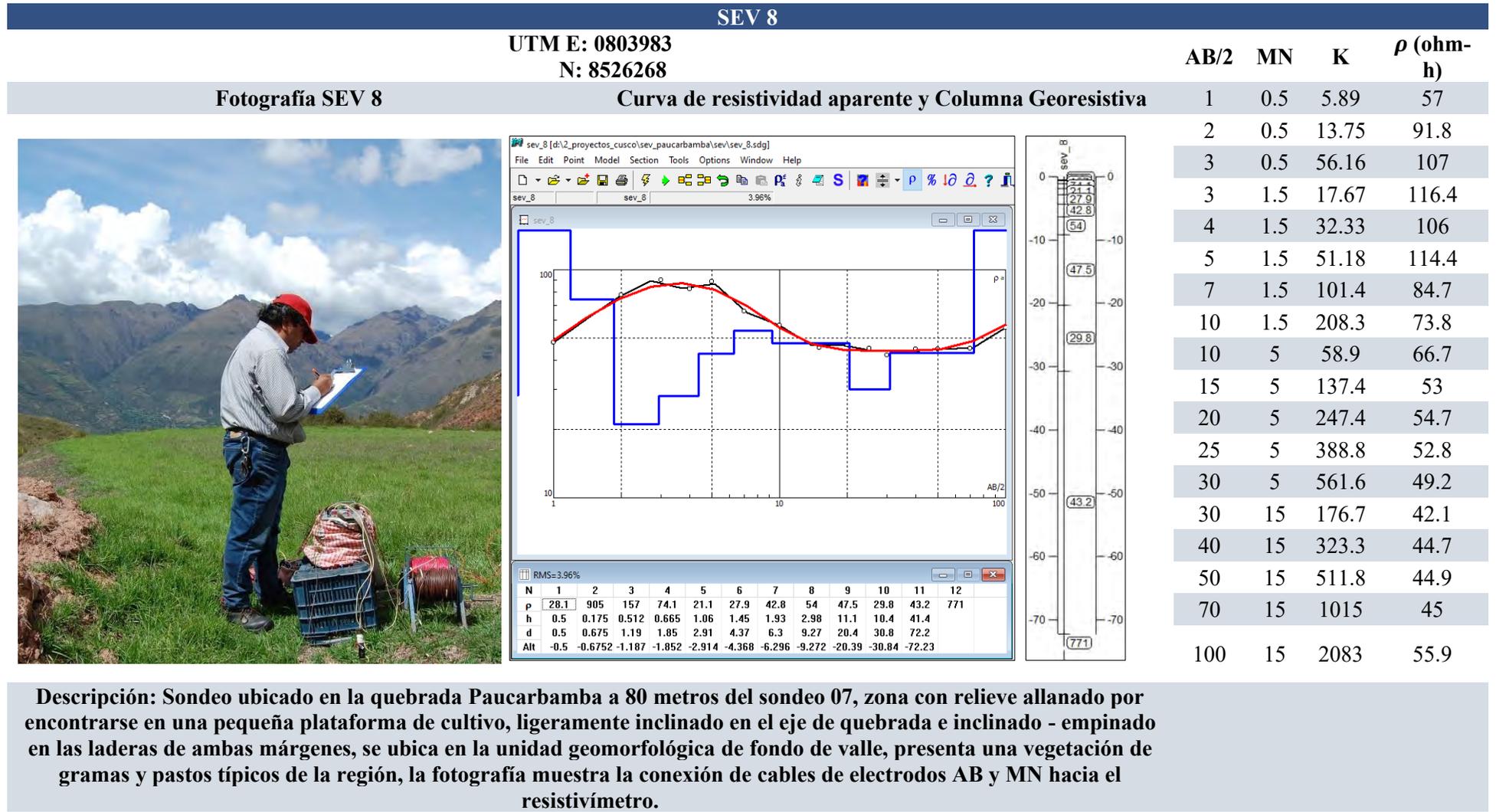
*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

Tabla 62 Formato SEV 07



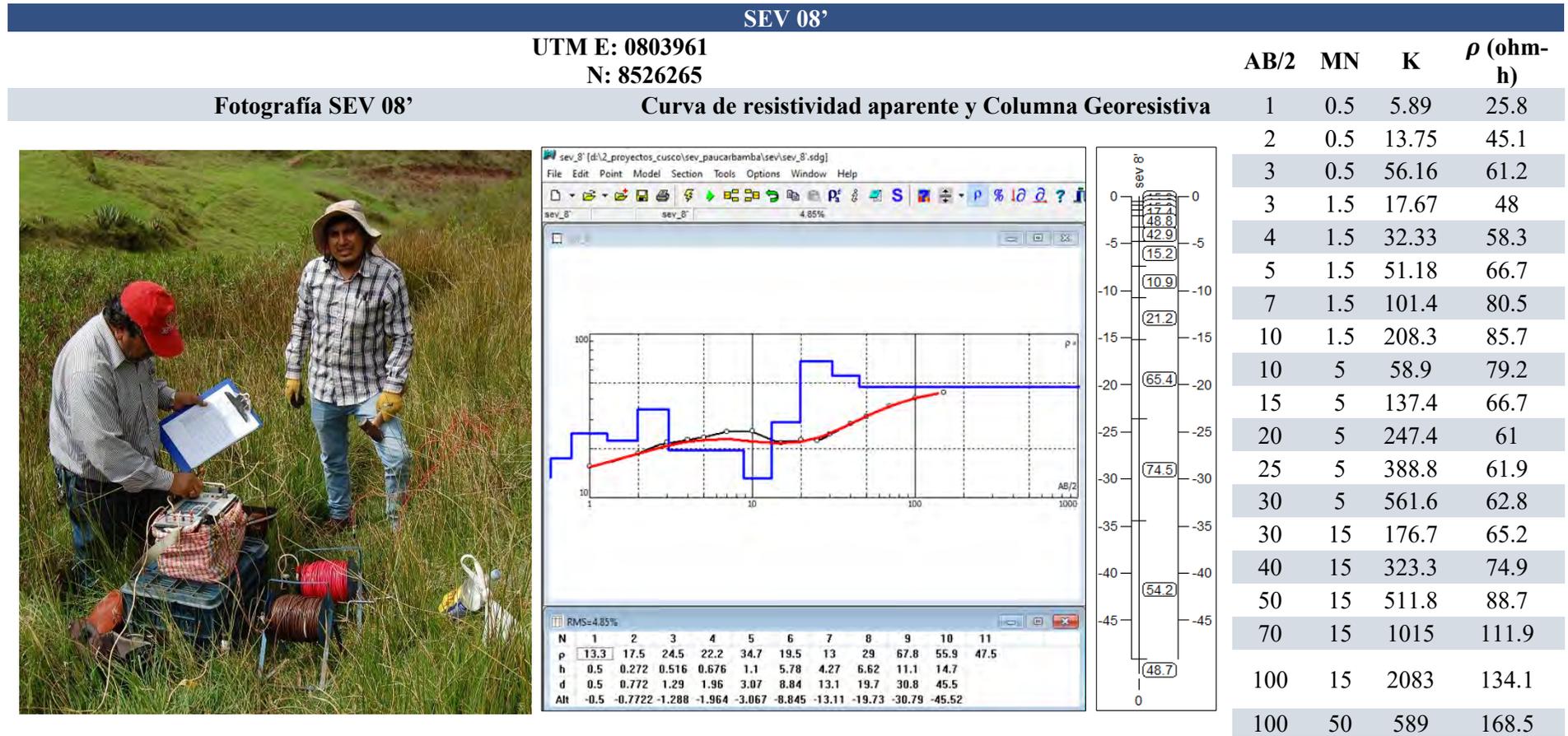
*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

Tabla 63 Formato SEV 08



Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

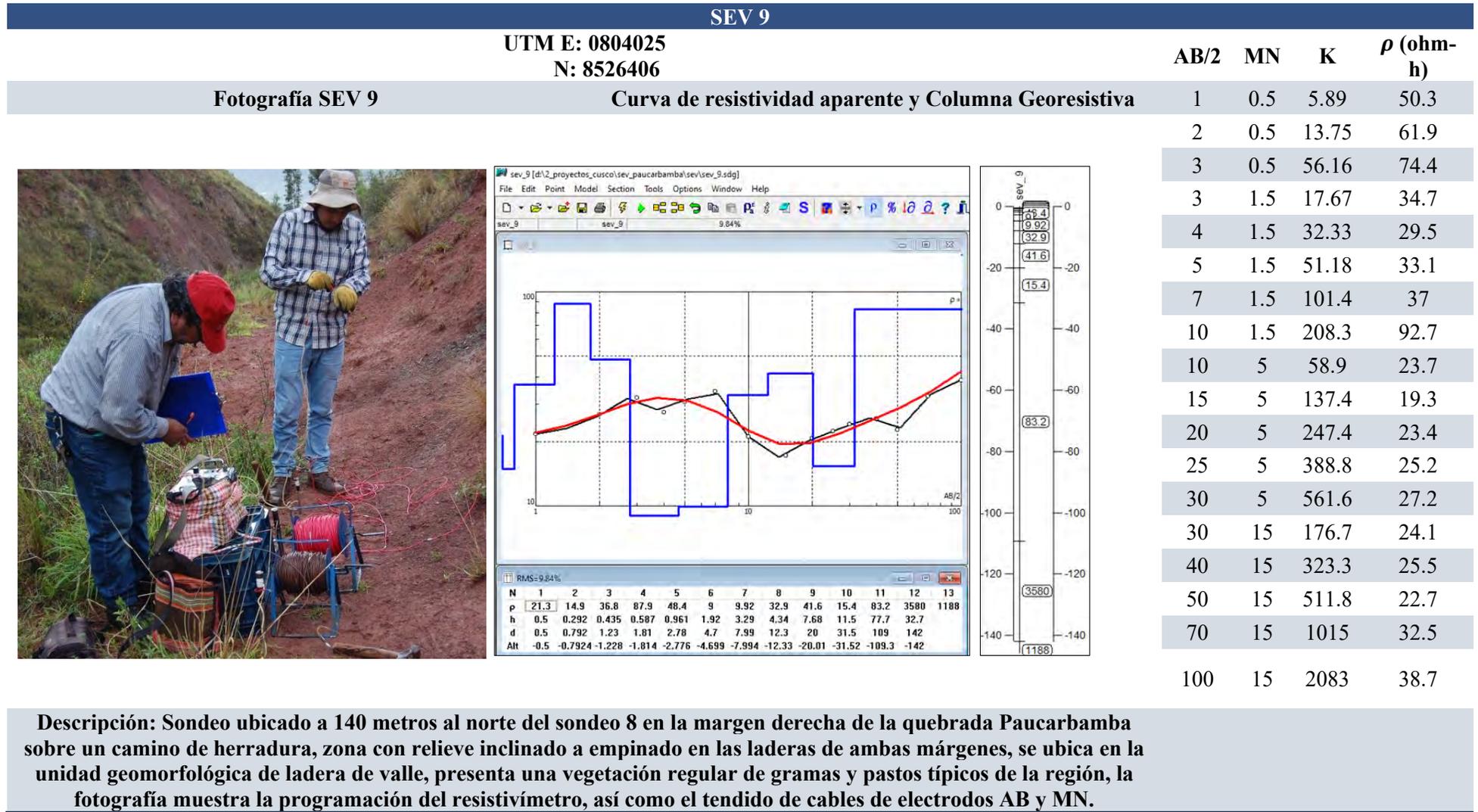
Tabla 64 Formato SEV 08'



**Descripción:** Sev ubicado al extremo este a 22 metros al oeste del SEV 08, el terreno presenta un relieve inclinado a empinado en las laderas de la quebrada, existe la presencia de gramas, pastos y pajas que se desarrollan en presencia de humedad, la fotografía muestra la toma de datos del levantamiento geofísico, se evidencia la presencia de especies vegetativas debido a la presencia de humedad.

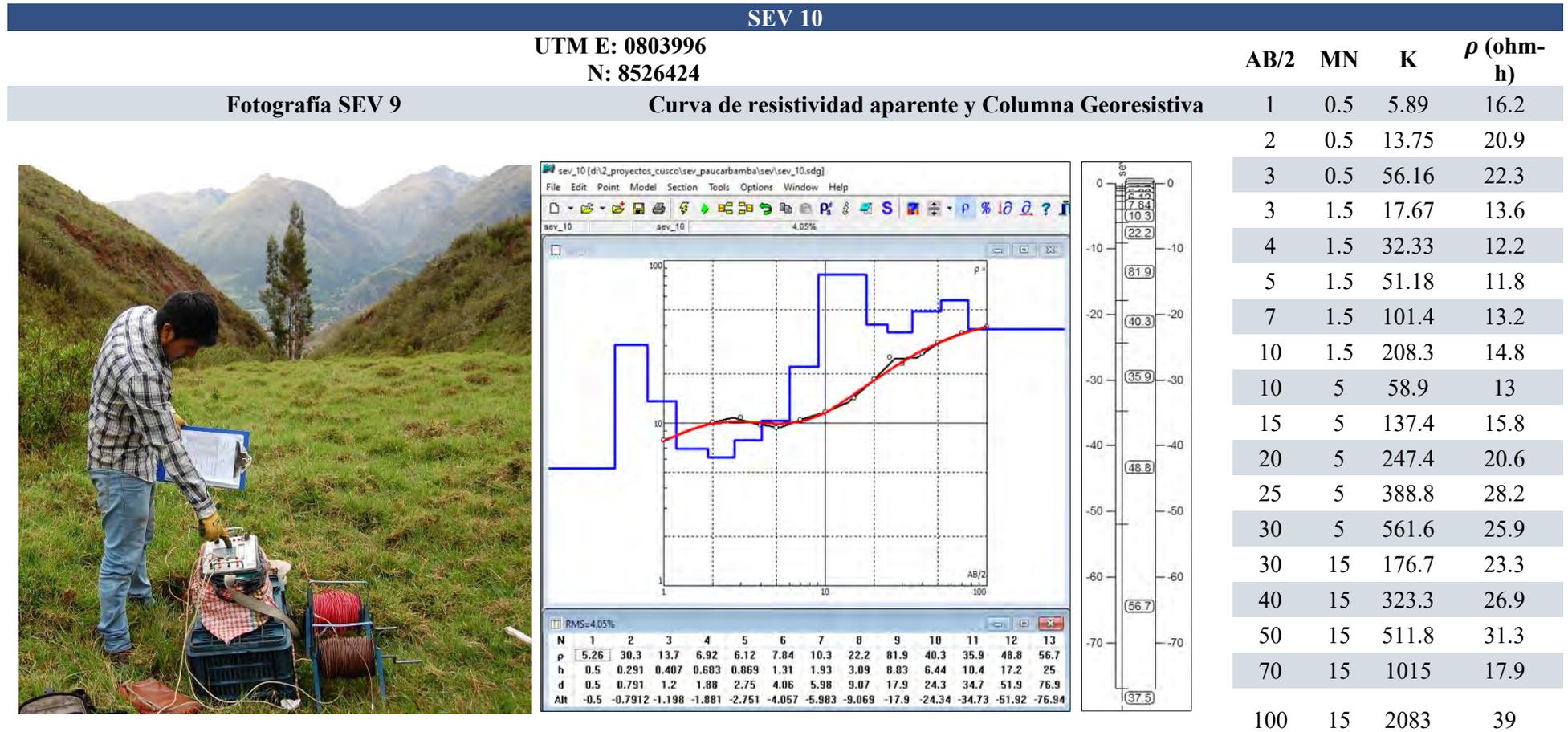
*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

Tabla 65 Formato SEV 09



Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.

Tabla 66 Formato SEV 10



**Descripción:** Sondeo ubicado a 35 metros al oeste del sondeo 9 en el eje de la quebrada Paucarbamba, zona con relieve ligeramente inclinado a empinado en las laderas de ambas márgenes, se ubica en la unidad geomorfológica de ladera de valle, presenta una vegetación de gramas y pastos típicos de la región, existe escorrentía sin arrastre de partículas ni erosión, la fotografía muestra la programación del resistivímetro, así como el tendido de cables de electrodos AB y MN.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos en campo y software IPI2WIN.



# microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Telf.: 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCIÓN N° 0555-2015-DRSC

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

Datos Generales	
Proyecto:	<b>TESIS DE PREGRADO: " ESTUDIO GEOLOGICO, GEOFISICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBO, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA – CUSCO 2020"</b>
Solicita:	<b>CRISTIAN VALENCIA RAMOS GUIDO ALMANZA OLARTE</b>
Número de muestra	01
Comunidad	Ccacllarakay
Sector	.....
Distrito	Maras
Provincia	Urubamba
Departamento	Cusco
Fuente	<b>MANANTIAL "M – 01"</b>
Fecha de obtención de la muestra	13 de noviembre del 2020
Hora de obtención de la muestra	10: 00 AM

Parámetros FÍSICOQUÍMICOS	Unidad	Resultados	Valores Normales (para RIEGO)
1. pH	Unidades de pH	6.8	6.5-8.5
2. Calcio	mg/L	47.2	hasta 200
3. Magnesio	mg/L	24.48	hasta 150
4. Sodio	mg/L	177	hasta 200
5. Cloruros	mg/L	100.7	hasta 500
6. Conductividad	us/cm	382	hasta 2 500
7. Sulfatos	mg/L	212.5	hasta 1000
8. Bicarbonatos	mg/L	172	hasta 518
9. Hierro	mg/L	0.75	hasta 5.0
10. Boro	mg/L	0.54	hasta 1.0
11. Turbiedad	UNT	2.1	.....
12. Dureza total CaCO <sub>3</sub>	mg/L	220.0	hasta 500
13. Total de sólidos disueltos	mg/L	207.0	hasta 2000
Conclusión	Los valores se encuentran dentro del límite permisible. Se sugiere el uso del agua para RIEGO.		

NOTA: SE CONSIDERAN LOS ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA-D.S. N° 004-2017-MINAM.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio Microlab

21/11/2020.

**BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.**

Ing. Carlos W. Quispe Ura  
INGENIERO QUIMICO



# microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Telf.: 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCIÓN N° 0555-2015-DRSC

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

Datos Generales	
Proyecto:	<b>TESIS DE PREGRADO: " ESTUDIO GEOLOGICO, GEOFISICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBO, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA – CUSCO 2020"</b>
Solicita:	<b>CRISTIAN VALENCIA RAMOS GUIDO ALMANZA OLARTE</b>
Número de muestra	02
Comunidad	Ccacllarakay
Sector	.....
Distrito	Maras
Provincia	Urubamba
Departamento	Cusco
Fuente	<b>MANANTIAL "M – 02"</b>
Fecha de obtención de la muestra	13 de noviembre del 2020
Hora de obtención de la muestra	10: 30 AM

Parámetros FÍSICOQUÍMICOS	Unidad	Resultados	Valores Normales (para RIEGO)
1. pH	Unidades de pH	7	6.5-8.5
2. Calcio	mg/L	45.6	hasta 200
3. Magnesio	mg/L	23.04	hasta 150
4. Sodio	mg/L	175	hasta 200
5. Cloruros	mg/L	89.3	hasta 500
6. Conductividad	us/cm	370	hasta 2 500
7. Sulfatos	mg/L	118.6	hasta 1000
8. Bicarbonatos	mg/L	153	hasta 518
9. Hierro	mg/L	0.74	hasta 5.0
10. Boro	mg/L	0.53	hasta 1.0
11. Turbiedad	UNT	4.3	.....
12. Dureza total CaCO <sub>3</sub>	mg/L	210.0	hasta 500
13. Total de sólidos disueltos	mg/L	195	hasta 2000
Conclusión	Los valores se encuentran dentro del límite permisible. Se sugiere el uso del agua para RIEGO.		

NOTA: SE CONSIDERAN LOS ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA-D.S. N° 004-2017-MINAM.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio Microlab

21/11/2020.

BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.

Ing. Carlos W. Quispe Ura  
INGENIERO QUÍMICO



# microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Telf.: 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCIÓN N° 0555-2015-DRSC

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

Datos Generales	
Proyecto:	<b>TESIS DE PREGRADO: " ESTUDIO GEOLOGICO, GEOFISICO E HIDROGEOLOGICO PARA LA EXPLORACION DE AGUA SUBTERRANEA EN LA MICROCUENCA PAUCARBAMBO, DISTRITO DE MARAS, PROVINCIA DE URUBAMBA – CUSCO 2020"</b>
Solicita:	<b>CRISTIAN VALENCIA RAMOS GUIDO ALMANZA OLARTE</b>
Número de muestra	03
Comunidad	Ccacllarakay
Sector	.....
Distrito	Maras
Provincia	Urubamba
Departamento	Cusco
Fuente	<b>MANANTIAL "M – 03"</b>
Fecha de obtención de la muestra	13 de noviembre del 2020
Hora de obtención de la muestra	11: 00 AM

Parámetros FÍSICOQUÍMICOS	Unidad	Resultados	Valores Normales (para RIEGO)
1. pH	Unidades de pH	6.9	6.5-8.5
2. Calcio	mg/L	52	hasta 200
3. Magnesio	mg/L	26.88	hasta 150
4. Sodio	mg/L	180	hasta 200
5. Cloruros	mg/L	127.6	hasta 500
6. Conductividad	us/cm	410	hasta 2 500
7. Sulfatos	mg/L	136.0	hasta 1000
8. Bicarbonatos	mg/L	192	hasta 518
9. Hierro	mg/L	0.77	hasta 5.0
10. Boro	mg/L	0.54	hasta 1.0
11. Turbiedad	UNT	3.1	.....
12. Dureza total CaCO <sub>3</sub>	mg/L	242.0	hasta 500
13. Total de sólidos disueltos	mg/L	211	hasta 2000

**Conclusión** Los valores se encuentran dentro del limite permisible. Se sugiere el uso del agua para RIEGO.

NOTA: SE CONSIDERAN LOS ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA-D.S. N° 004-2017-MINAM.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio Microlab

**BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.**

Ing. Carlos W. Quispe Ura  
INGENIERO QUÍMICO

21/11/2020.

## Presupuesto

Presupuesto 1102001 Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020  
 Subpresupuesto 001 Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020  
 Cliente Municipalidad Distrital Maras  
 Lugar CUSCO - URUBAMBA - MARAS

Costo al 01/07/2023

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	PERFORACION POZO TUBULAR INVESTIGACIÓN TESIS 2020				33,638.14
01.01	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				
01.02	TRANSPORTE DE EQUIPO Y HERRAMIENTAS	glb	2.00	600.00	1,200.00
01.03	ALMACEN CASETA Y GUARDIANIA	glb	1.00	800.00	800.00
01.04	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
01.05	TRAZO Y REPLANTEO	m2	4.00	123.60	494.40
01.06	EXCAVACION DE POZO DE CIRCULACION	und	2.00	123.60	247.20
01.07	<b>PERFORACION POZO DE SONDEO 5"</b>				
01.08	PERFORACION DE POZO metro lineales	m	40.00	349.72	13,988.80
01.09	<b>PERFORACION Y DESARROLLO DE POZO 8"</b>				
01.10	REMALLADO O ENSANCHADO DE POZO 8"	m	40.00	560.12	22,404.80
01.11	SUMINISTRO Y COLOCACION DE TUBERIA CRIBADA	und	5.00	162.40	812.00
01.12	SUMINISTRO Y LLENADO DEL ESPACIO ANULAR CON GRAVA	m3	1.00	128.34	128.34
01.13	<b>INSTALACIONES HIDRAULICAS Y ELECTROMECÁNICAS</b>				
01.14	SUMINISTRO E INSTALACION DE BOMBA SUMERGIBLE 1 HP 1"	und	1.00	2,900.96	2,900.96
01.15	INSTALACION DE DRISA O SOGA DE 1/2" PARA SOPORTE DE MOTOR	m	30.00	2.84	85.20
01.16	CABLE PARA CORRIENTE TRIFASICO	m	30.00	48.40	1,452.00
01.17	TUBERIA DE IMPULSION PVC DE 1 " CLASE 7.5 x 6	m	25.00	45.05	1,126.25
01.18	TABLERO DE CONTROL TRIFASICO	und	1.00	150.00	150.00
01.19	<b>LIMPIEZA Y PRUEBAS</b>				
01.20	LIMPIEZA FINAL DEL POZO	día	8.00	174.48	1,395.84
01.21	PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE	día	1.00	99.95	99.95
	<b>Costo Directo</b>				<b>33,638.14</b>

SON : TRENTITRES MIL SEISCIENTOS TRENTIOCHO Y 14/100 SOLES

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto 1102001 Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020  
 Subpresupuesto 001 Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020 Fecha presupuesto 01/07/2023

Partida 01.02 TRANSPORTE DE EQUIPO Y HERRAMIENTAS

Rendimiento glb/DIA MO. 1.0000 EQ. 1.0000 Costo unitario directo por : glb 600.00

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	8.0000	20.00	160.00
01010300030005	AYUDANTE	hh	1.8750	15.0000	8.00	120.00
<b>280.00</b>						
<b>Equipos</b>						
03012200030003	CAMIONETA PICK UP DOBLE CABINA 4 X 4	hm	1.0000	8.0000	40.00	320.00
<b>320.00</b>						

Partida 01.03 ALMACEN CASETA Y GUARDIANIA

Rendimiento glb/DIA MO. 1.0000 EQ. 1.0000 Costo unitario directo por : glb 800.00

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	8.0000	20.00	160.00
01010300030005	AYUDANTE	hh	2.0000	16.0000	8.00	128.00
<b>288.00</b>						
<b>Materiales</b>						
02041200010007	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 4"	kg		1.0000	7.00	7.00
02310500010008	calamina galvanizada de 3.60 x 0.80	und		7.0000	25.00	175.00
02630100010001	POSTE DE MADERA H=8.00 m	und		5.0000	66.00	330.00
<b>512.00</b>						

Partida 01.05 TRAZO Y REPLANTEO

Rendimiento m2/DIA MO. 1.0000 EQ. 1.0000 Costo unitario directo por : m2 123.60

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010005	PEON	hh	1.0000	8.0000	15.00	120.00
<b>120.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	120.00	3.60
<b>3.60</b>						

Partida 01.06 EXCAVACION DE POZA DE CIRCULACION

Rendimiento und/DIA MO. 1.0000 EQ. 1.0000 Costo unitario directo por : und 123.60

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010005	PEON	hh	1.0000	8.0000	15.00	120.00
<b>120.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	120.00	3.60
<b>3.60</b>						

Partida 01.08 PERFORACION DE POZO metro lineales

Rendimiento m/DIA MO. 1.5000 EQ. 1.5000 Costo unitario directo por : m 349.72

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	1.5000	8.0000	20.00	160.00
01010300030005	AYUDANTE	hh	1.5000	8.0000	8.00	64.00
<b>224.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	224.00	6.72
03010400030003	MOTOBOMBA DE 2" (5HP)	hm	0.1875	1.0000	7.00	7.00
03010400030005	MOTOR ROTATORIO DE 5HP	hm	1.5000	8.0000	7.00	56.00
0301250001	GRUPO ELECTROGENO	hm	1.5000	8.0000	7.00	56.00
<b>125.72</b>						

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto **1102001** Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020  
 Subpresupuesto **001** Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020 Fecha presupuesto **01/07/2023**

Partida **01.10** **REMALLADO O ENSANCHADO DE POZO 8"**

Rendimiento **m/DIA** MO. **1.7500** EQ. **1.7500** Costo unitario directo por : m **560.12**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	1.7500	8.0000	20.00	160.00
01010300030005	AYUDANTE	hh	4.5938	21.0002	8.00	168.00
<b>328.00</b>						
<b>Materiales</b>						
0258090001	ACCESORIOS PARA PERFORACION	und		10.0000	10.00	100.00
<b>100.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		4.0000	328.00	13.12
03010400030001	MOTOBOMBA DE 2" (5HP)	dia	1.7500	1.0000	7.00	7.00
03010400030005	MOTOR ROTATORIO DE 5HP	hm	1.7500	8.0000	7.00	56.00
0301250001	GRUPO ELECTROGENO	hm	1.7500	8.0000	7.00	56.00
<b>132.12</b>						

Partida **01.11** **SUMINISTRO Y COLOCACION DE TUBERIA CRIBADA**

Rendimiento **und/DIA** MO. **5.0000** EQ. **5.0000** Costo unitario directo por : und **162.40**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	0.5000	0.8000	20.00	16.00
01010300030005	AYUDANTE	hh	0.5000	0.8000	8.00	6.40
<b>22.40</b>						
<b>Materiales</b>						
02050700020019	TUBERIA PVC-SAP C-10 S/P DE 10" X 5 m	und		1.0000	130.00	130.00
<b>130.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0301490002	HERRAMIENTAS MENORES PARA PERFORISTA	glb		1.0000	10.00	10.00
<b>10.00</b>						

Partida **01.12** **SUMINISTRO Y LLENADO DEL ESPACIO ANULAR CON GRAVA**

Rendimiento **m3/DIA** MO. **6.0000** EQ. **6.0000** Costo unitario directo por : m3 **128.34**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	1.3333	20.00	26.67
01010300030005	AYUDANTE	hh	1.0000	1.3333	8.00	10.67
<b>37.34</b>						
<b>Materiales</b>						
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		1.0000	70.00	70.00
<b>70.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0301470001	HERRAMIENTAS MENORES PARA OBRA (CAMPO)	glb		3.0000	7.00	21.00
<b>21.00</b>						

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto 1102001 Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020  
 Subpresupuesto 001 Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020 Fecha presupuesto 01/07/2023

Partida 01.14 SUMINISTRO E INSTALACION DE BOMBA SUMERGIBLE 1 HP 1"

Rendimiento und/DIA MO. 4.0000 EQ. 4.0000 Costo unitario directo por : und **2,900.96**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	4.0000	20.00	80.00
01010300030005	AYUDANTE	hh	2.0000	4.0000	8.00	32.00
<b>112.00</b>						
<b>Materiales</b>						
02410200010001	CINTA AILANTE 3M	rl		1.0000	10.00	10.00
02410200010004	CINTA AISLANTE VULCANIZANTE 3M	rl		1.0000	20.00	20.00
0258040019	ELECTROBOMBA SUMERGIBLE 1 HP	und		1.0000	2,500.00	2,500.00
<b>2,530.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		8.0000	112.00	8.96
0303010023	INSTALACION DE ELECTROBOMBA	glb		1.0000	250.00	250.00
<b>258.96</b>						

Partida 01.15 INSTALACION DE DRISA O SOGA DE 1/2" PARA SOPORTE DE MOTOR

Rendimiento m/DIA MO. 50.0000 EQ. 50.0000 Costo unitario directo por : m **2.84**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	0.5000	0.0800	20.00	1.60
0101010005	PEON	hh	0.1000	0.0160	15.00	0.24
<b>1.84</b>						
<b>Materiales</b>						
0267080007	SOGA DE NYLON 3/4"	m		1.0000	1.00	1.00
<b>1.00</b>						

Partida 01.16 CABLE PARA CORRIENTE TRIFASICO

Rendimiento m/DIA MO. 30.0000 EQ. 30.0000 Costo unitario directo por : m **48.40**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	3.7500	1.0000	20.00	20.00
0101010005	PEON	hh	3.7500	1.0000	15.00	15.00
<b>35.00</b>						
<b>Materiales</b>						
02700000020005	CABLE THW # 18 AWG	m		1.0000	12.00	12.00
<b>12.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		4.0000	35.00	1.40
<b>1.40</b>						

Partida 01.17 TUBERIA DE IMPULSION PVC DE 1 " CLASE 7.5 x 6

Rendimiento m/DIA MO. 20.0000 EQ. 20.0000 Costo unitario directo por : m **45.05**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	2.2500	0.9000	20.00	18.00
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.8000	15.00	12.00
<b>30.00</b>						
<b>Materiales</b>						
02050700020006	TUBERIA PVC SAP C-10 S/P DE 1" X 5 m	m		1.0000	10.00	10.00
02051800020003	UNIONES PVC-SAP C/R 1"	und		1.0000	4.00	4.00
<b>14.00</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.5000	30.00	1.05
<b>1.05</b>						

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto 1102001 Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020  
 Subpresupuesto 001 Perforacion de un Pozo Tubular Maras 2020 Fecha presupuesto 01/07/2023

Partida 01.18 TABLERO DE CONTROL TRIFASICO

Rendimiento und/DIA MO. 2.0000 EQ. 2.0000 Costo unitario directo por : und **150.00**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010004	OFICIAL	hh	1.2500	5.0000	20.00	100.00
<b>Materiales</b>						
02740100010002	TABLERO DE DISTRIBUC. 3ø, 380/220V, P/S.E AEREA DE 100 KVA	día		1.0000	50.00	50.00
						<b>50.00</b>

Partida 01.20 LIMPIEZA FINAL DEL POZO

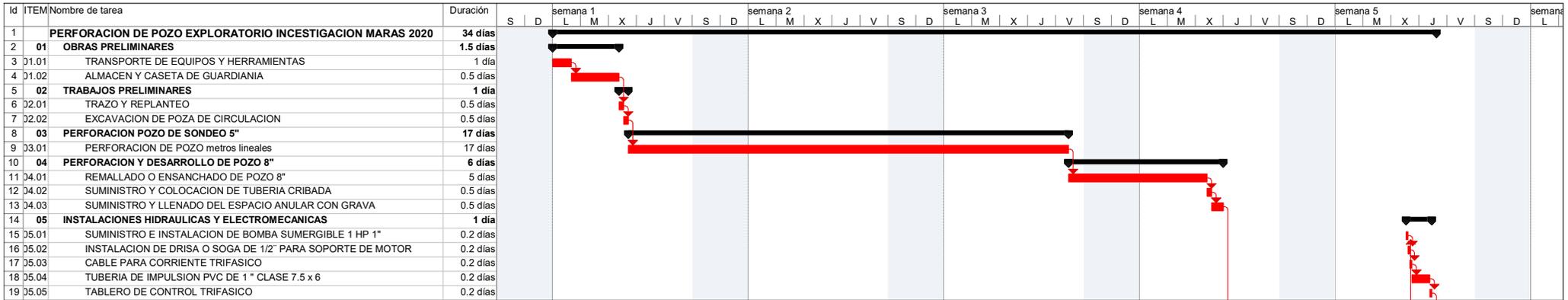
Rendimiento día/DIA MO. 200.0000 EQ. 200.0000 Costo unitario directo por : día **174.48**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	4.0000	0.1600	20.00	3.20
01010300030005	AYUDANTE	hh	4.0000	0.1600	8.00	1.28
						<b>4.48</b>
<b>Materiales</b>						
02460300010008	TUBO DE BERNOULLI	glb		0.4000	50.00	20.00
						<b>20.00</b>
<b>Equipos</b>						
03012600010001	COMPRESORA DE AIRE	día	600.0000	3.0000	50.00	150.00
						<b>150.00</b>

Partida 01.21 PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE

Rendimiento día/DIA MO. 1.0000 EQ. 1.0000 Costo unitario directo por : día **99.95**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
<b>Mano de Obra</b>						
01010300030005	AYUDANTE	hh	0.4680	3.7440	8.00	29.95
0103010013	INGENIERO HIDROGEOLOGO	mes		0.5000	100.00	50.00
						<b>79.95</b>
<b>Materiales</b>						
02901000020016	SONDA DE NIVEL FREATICO	glb		1.0000	20.00	20.00
						<b>20.00</b>



Proyecto: CRONOGRAMA Fecha: lun 03/07/23	Tarea		Tarea resumida		División		Hito inactivo		Informe de resumen manual		Tareas externas	
	Tarea crítica		Tarea crítica resumida		Tareas externas		Resumen inactivo		Resumen manual		Hito externo	
	Hito		Hito resumido		Resumen del proyecto		Tarea manual		solo el comienzo		Progreso	
	Resumen		Progreso resumido		Agrupar por síntesis		solo duración		solo fin		Fecha límite	

Id	ITEM	Nombre de tarea	Duración	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5		Semana 6					
				S	D	L	M	X	J	V	S	D	L		M	X	J	V	S
20	06	LIMPIEZA Y PRUEBAS	8.5 días																
21	06.01	LIMPIEZA FINAL DEL POZO	7 días																
22	06.02	PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE	0.5 días																



Proyecto: CRONOGRAMA Fecha: lun 03/07/23	Tarea		Tarea resumida		División		Hito inactivo		Informe de resumen manual		Tareas externas	
	Tarea crítica		Tarea crítica resumida		Tareas externas		Resumen inactivo		Resumen manual		Hito externo	
	Hito		Hito resumido		Resumen del proyecto		Tarea manual		solo el comienzo		Progreso	
	Resumen		Progreso resumido		Agrupar por síntesis		solo duración		solo fin		Fecha límite	