

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL
POTENCIAL HÍDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY,
PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021**

PRESENTADO POR:

Br. Justino Huaman Quispe

Br. Yanet Carolina Melgarejo Quispe Ynga

**PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
GEÓLOGO**

ASESOR:

Mgt. Edison Santiago Mattos Ojeda

CUSCO - PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Estudio
Hidrogeológico con el propósito de determinar el potencial
hidrico en la cuenca san Juan, distrito de Yucay, provincia de
Urubamba, región Cusco - 2021

presentado por: Justino Huaman Quispe con DNI Nro.: 48540101 presentado
por: Yaret Carolina Melgarejo Quispe Ynga con DNI Nro.: 76356353 para optar el
título profesional/grado académico de Ingeniero Geólogo

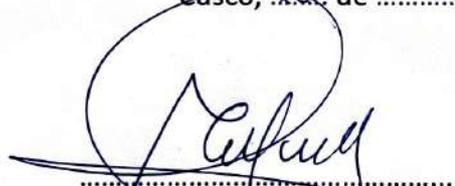
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la**
UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%.

**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, 20 de setiembre de 2024



Firma

Post firma Edison Santiago Rattos Uieda

Nro. de DNI 23853084

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:** 27259:383168369

NOMBRE DEL TRABAJO

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PR
OPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCI
AL HÍDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN,
DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE UR
UBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021

AUTOR

JUSTINO HUAMAN QUISPE _ YANET CA
ROLINA MELGAREJO QUISPE YNGA

RECUENTO DE PALABRAS

46760 Words

RECUENTO DE CARACTERES

241281 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

198 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

62.2MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 19, 2024 10:37 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 19, 2024 10:41 AM GMT-5

● **8% de similitud general**

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

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Fuentes excluidas manualmente
- Bloques de texto excluidos manualmente



ÍNDICE

RESUMEN	14
CAPÍTULO I	14
GENERALIDADES	15
1.1. UBICACIÓN.....	15
1.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA	15
1.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	15
1.2. ACCESIBILIDAD	15
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.4. OBJETIVOS.....	17
1.4.1. OBJETIVOS GENERALES.....	17
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.5. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN	17
1.6. HIPÓTESIS.....	18
1.7. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	18
1.7.1. INDICADORES.....	18
1.8. METODOLOGIA DE TRABAJO	19
1.9. FASES DE ELABORACIÓN DEL ESTUDIO	19
1.9.1. FASE DE RECOPIACIÓN DE INFORMACION EXISTENTE	19
1.9.2. FASE DE INVESTIGACIONES DE CAMPO.....	20
1.10. ANTECEDENTES.....	21
1.11. MATERIALES Y EQUIPOS	21
A. MATERIAL CARTOGRAFICO	21
B. MATERIALES DE CAMPO	22
C. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	22



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	23
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.2. MARCO REFERENCIAL	24
<i>GEOLOGIA REGIONAL</i>	24
<i>GEOMORFOLOGIA REGIONAL</i>	26
2.3. MARCO CONCEPTUAL	28
CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGÍA.....	45
3.1. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	45
3.2. MAPA DE PENDIENTES.....	49
A. <i>PLANO O CASI NIVEL O ALLANADA</i>	51
B. <i>LLANO O LIGERAMENTE INCLINADO</i>	51
C. <i>MODERADAMENTE INCLINADAS</i>	51
D. <i>FUERTEMENTE INCLINADA</i>	52
E. <i>MODERADAMENTE EMPINADA</i>	52
F. <i>EMPINADA</i>	52
G. <i>FUERTEMENTE EMPINADA</i>	52
H. <i>EXTREMADAMENTE EMPINADA</i>	52
CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA.....	53
4.1. GEOLOGÍA LOCAL	53
FORMACIÓN KAYRA	54
FORMACIÓN QUILQUE	55
FORMACIÓN CHILCA	56
FORMACIÓN PAUCARBAMBA.....	57
FORMACIÓN MARAS.....	59
FORMACIÓN PUQUÍN	60
FORMACIÓN HUANCANÉ	62
FORMACIÓN PACHATUSAN.....	63



DEPOSITOS CUATERNARIOS.....	64
ROCA ÍGNEA INTRUSIVA.....	70
CAPÍTULO V: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	72
5.1. GENERALIDADES DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	72
5.2. ESTRUCTURAS REGIONALES	72
5.3. ESTRUCTURAS LOCALES	74
CAPÍTULO VI: HIDROLOGÍA	81
6.1. GENERALIDADES.....	81
6.2. HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN	81
<i>HUMEDAD RELATIVA</i>	<i>90</i>
<i>REGIONALIZACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN</i>	<i>90</i>
<i>REGIONALIZACIÓN PRECIPITACIÓN</i>	<i>91</i>
<i>REGIONALIZACIÓN DE TEMPERATURA.....</i>	<i>96</i>
6.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN	99
6.3.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.....	99
6.3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.....	100
6.3.3. BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA	101
CAPÍTULO VII: GEOFÍSICA	102
7.1. GENERALIDADES DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	102
7.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO GEOFÍSICO USADO.....	103
7.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES:.....	106
7.4. TRABAJO EN CAMPO.....	107
7.5.1. PERFIL GEOELÉCTRICO A-A'	108
7.5.2. PERFIL GEOELÉCTRICO B-B'	112
7.5.3. PERFIL GEOELÉCTRICO C-C'	115
CAPÍTULO VIII: HIDROGEOLOGÍA	120



8.1. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	120
8.2. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS.....	121
8.3. PERMEABILIDAD DE LAS FORMACIONES GEOLOGICAS	122
8.3.1. ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....	124
8.4. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA SAN JUAN	127
<i>ACUÍFEROS</i>	128
<i>ACUITARDOS</i>	128
DIRECCION DE FLUJO	130
8.5. ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA DE LA CUENCA SAN JUAN.....	130
<i>ZONAS DE RECARGA</i>	130
<i>ZONAS DE DESCARGA</i>	131
CAPÍTULO IX: HIDROQUÍMICA.....	134
9.1. GENERALIDADES.....	134
9.2. MUESTREO DE CAMPO	134
9.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	135
9.4. CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA POR IONES DOMINANTES DEL AGUA	137
9.5. ANALISIS DEL AGUA CON EL DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD.....	139
CONCLUSIONES	141
RECOMENDACIONES	143
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
ANEXOS	147



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°: 1 ACCESO AL POBLADO DE YUCAY	16
FIGURA N°: 2 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL DE YUCAY	25
FIGURA N°: 3 ARREGLO WERNNER, (HERNÁNDEZ A., 2017)	30
FIGURA N°: 4 ARREGLO SCHLUMBERGER, (HERNÁNDEZ A., 2017).	31
FIGURA N°: 5 REDES DE FLUJOS	43
FIGURA N°: 6 LÍNEAS DE FLUJO.....	44
FIGURA N°: 7 DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE PENDIENTES DE LA CUENCA SAN JUAN.....	51
FIGURA N°: 8 MODELO GEOLÓGICO LOCAL EN 3D DE LA CUENCA SAN JUAN.	71
FIGURA N: 9 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CABECERA DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN ...	82
FIGURA N°: 10 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO SAN JUAN	83
FIGURA N°: 11 CURVA HIPSOMÉTRICA	89
FIGURA N°: 12 GRÁFICO DE CÁLCULO DE POLÍGONOS DE THIESSEN	91
FIGURA N°: 13 CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN MEDIA MEDIANTE EL SOFTWARE ARCGIS DE LA CUENCA DE ESTUDIO, POR EL MÉTODO DE THIESSEN.....	92
FIGURA N°: 14 GRÁFICO DEL ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN	95
FIGURA N°: 15 GRÁFICO DE ECUACIÓN DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIÓN	96
FIGURA N°: 16 GRÁFICO DE ECUACIÓN DE REGIONALIZACIÓN DE TEMPERATURA	97
FIGURA N°: 17 GRÁFICO DEL ANÁLISIS DE TEMPERATURA.....	98
FIGURA N°: 18 EVAPOTRANSPIRACIÓN VS PRECIPITACIÓN.....	100
FIGURA N°: 19 VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN, PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.	102
FIGURA N°: 20 DISPOSICIÓN DE ELECTRODOS SCHLUMBERGER QUE SE UTILIZÓ EN CAMPO.....	104
FIGURA N°: 21 PERFIL GEOELÉCTRICO A-A'	109
FIGURA N°: 22 SECCIÓN LITOLÓGICA ENTRE EL SEV 01 Y SEV 02	111
FIGURA N°: 23 PERFIL GEOELÉCTRICO B-B'	112
FIGURA N°: 24 SECCIÓN LITOLÓGICA DEL SEV 02 Y SEV 03.....	114
FIGURA N°: 25 PERFIL GEOELÉCTRICO C-C'	115



FIGURA N°: 26 SECCIÓN LITOLÓGICA DEL SEV 01 Y SEV 03.....	117
FIGURA N°: 27 MODELO GEOFÍSICO EN 3D VISTA AL NE.....	118
FIGURA N°: 28 MODELO GEOFÍSICO EN 3D CON VISTA AL NO.	119
FIGURA N°: 29 ENSAYO DE LEFRANC DE CARGA VARIABLE	125
FIGURA N°: 30 ESQUEMA DE COLORES DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	129
FIGURA N°: 31 IMAGEN EN 3D DE LAS ISOHIPSAS FREÁTICAS Y LAS DIRECCIONES FLUJO DE LA CUENCA SAN JUAN	130
FIGURA N°: 32 ESQUEMA DE COLORES DE ÁREAS DE MAPAS DE ACUÍFEROS.....	133
FIGURA N°: 33 MODELO HIDROGEOLÓGICO EN 3D DE LA CUENCA SAN JUAN CON VISTA AL NORTE.....	133
FIGURA N°: 34 DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE POTABILIDAD DE AGUA DE LA CUENCA SAN JUAN	140



INDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1: EL VALLE DEL VILCANOTA – ZONA INTERMEDIA ALTIPLANO Y UNA PARTE DEL ALTIPLANO	28
FOTOGRAFÍA 2: VALLE GLACIAR EN LA CUENCA SAN JUAN	47
FOTOGRAFÍA 3: VISTA PANORÁMICA GEOMORFOLÓGICA DEL POBLADO DE YUCAY	48
FOTOGRAFÍA 4: VERTIENTE COLUVIO DELUVIAL	49
FOTOGRAFÍA 5: ARENISCAS DE LA FORMACIÓN KAYRA.....	53
FOTOGRAFÍA 6: LUTITAS DE LA FORMACIÓN KAYRA	54
FOTOGRAFÍA 7: ARENISCAS DE LA FORMACIÓN KAYRA	55
FOTOGRAFÍA 8: FORMACIÓN QUILQUE.....	56
FOTOGRAFÍA 9: FORMACIÓN CHILCA	57
FOTOGRAFÍA 10: FORMACIÓN PAUCARBAMBA.....	58
FOTOGRAFÍA 11: LUTITAS DE LA FORMACIÓN PAUCARBAMBA	58
FOTOGRAFÍA 12: AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN MARAS.....	59
FOTOGRAFÍA 13: YESO DE LA FORMACIÓN MARAS	60
FOTOGRAFÍA 14: FORMACIÓN PUQUÍN.....	60
FOTOGRAFÍA 15: MARGAS DE LA FORMACIÓN PUQUÍN.....	61
FOTOGRAFÍA 16: FORMACIÓN HUANCANÉ	62
FOTOGRAFÍA 17: FORMACIÓN PACHATUSAN	63
FOTOGRAFÍA 18: MUESTRA DE MANO DE LA FORMACIÓN PACHATUSAN.....	64
FOTOGRAFÍA 19: VISTA PANORÁMICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS.	65
FOTOGRAFÍA 20: MATERIAL DE DEPÓSITO ALUVIAL	66
FOTOGRAFÍA 21: DEPÓSITOS FLUVIALES	67
FOTOGRAFÍA 22: MATERIAL LIMO ARENOSO FLUVIAL.....	67
FOTOGRAFÍA 23: MATERIAL COLUVIAL.....	68
FOTOGRAFÍA 24: MATERIAL GLACIAR	69
FOTOGRAFÍA 25: ANTICLINAL AL ESTE DE YUCAY	75



FOTOGRAFÍA 26: SINCLINAL EN LA FORMACIÓN QUILQUE	76
FOTOGRAFÍA 27: FALLAS AL ESTE DE YUCAY.....	77
FOTOGRAFÍA 28: FALLAS AL NORESTE DE YUCAY	77
FOTOGRAFÍA 29: FALLAS AL SUR DE YUCAY.....	78
FOTOGRAFÍA 30: FALLAS LOCALES.....	79
FOTOGRAFÍA 31: FALLAS LOCALES AL ESTE DE YUCAY	80
FOTOGRAFÍA 32: GEORESISTIVÍMETRO WARGPOWER MODELO G-1124	105
FOTOGRAFÍA 33: UBICACIÓN DE SEV	107
FOTOGRAFÍA 34: ENSAYO DE PERMEABILIDAD REALIZADO IN SITU	126
FOTOGRAFÍA 35: ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA DE LA CABECERA DE LA CUENCA SAN JUAN	132
FOTOGRAFÍA 36: TOMA DE MUESTRA DE AGUA PARA ANÁLISIS QUÍMICO	134



INDICE DE TABLAS

TABLA 1 COORDENADAS GEOGRÁFICAS	15
TABLA 2 ACCESIBILIDAD	15
TABLA 3: TABLA RESUMEN DE LA GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	45
TABLA 4: CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES	50
TABLA 5: CODIFICACIÓN PFAFSTETTER DE LA CUENCA SAN JUAN.....	81
TABLA 6: PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA SAN JUAN	83
TABLA 7: PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS DEL RÍO SAN JUAN.....	84
TABLA 8: VALORES DEL COEFICIENTE DE COMPACIDAD O GRAVELIOUS	86
TABLA 9: RANGOS APROXIMADOS DEL FACTOR DE FORMA	86
TABLA 10: ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA SAN JUAN.....	87
TABLA 11: PORCENTAJE DEL ÁREA DE LA CUENCA QUE QUEDA POR ENCIMA Y POR DEBAJO DE LA ALTITUD	88
TABLA 12: HUMEDAD RELATIVA MENSUAL DE LA ESTACIÓN DE URUBAMBA.....	90
TABLA 13: PRECIPITACIÓN MEDIA CALCULADA POR EL MÉTODO KRIGING EN EL ÁREA DE ESTUDIO	92
TABLA 14: DESCRIPCIÓN DE PUNTOS METEOROLÓGICOS CON DATOS DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	95
TABLA 15: DESCRIPCIÓN DE PUNTOS METEOROLÓGICOS CON DATOS DE TEMPERATURA MEDIA ANUAL	96
TABLA 16: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL VS ELEVACIÓN	97
TABLA 17: TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL VS ELEVACIÓN	98
TABLA 18: TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL VS ELEVACIÓN	98
TABLA 19: EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR EL MÉTODO DE THORNTHWAITE	100
TABLA 20: BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA SAN JUAN SEGÚN THORNTHWAITE	101
TABLA 21: UBICACIÓN DE SEV CON CONFIGURACIÓN SCHLUMBERGER.....	107
TABLA 22: TABLA RESUMEN DEL INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA.....	120



TABLA 23: PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL INVENTARIO DE AGUAS	121
TABLA 24: POROSIDAD DE MATERIALES GEOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO SEGÚN SANDERS.....	122
TABLA 25: CLASIFICACIÓN DE TERRENOS POR LA PERMEABILIDAD.....	123
TABLA 26: VALORES DE PERMEABILIDAD PARA MATERIALES NO CONSOLIDADOS SEGÚN SILINBEKCHURIN.....	124
TABLA 27: VALORES DE PERMEABILIDAD Y POROSIDAD PARA CLASIFICACIONES HIDROGEOLÓGICAS	124
TABLA 28: RESUMEN DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD.....	126
TABLA 29: RESUMEN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA.....	135
TABLA 30: TABLA DE COMPARACIÓN CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL REGLAMENTO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO PARA EL MANANTIAL CHUYUNAPATA	136
TABLA 31: TABLA DE COMPARACIÓN CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL REGLAMENTO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO PARA EL MANANTIAL SAN JUAN	136
TABLA 32: TABLA DE COMPARACIÓN CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL REGLAMENTO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO PARA EL MANANTIAL HUACHAQ	137
TABLA 33: CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA POR IONES DOMINANTES DEL AGUA	138
TABLA 34: EQUIVALENTE QUÍMICO DE CATIONES Y ANIONES	138
TABLA 35: COMPARACIÓN DE CONCENTRACIÓN TOTAL DE CATIONES Y ANIONES DE CADA MANANTE.....	139
TABLA 36: CLASIFICACIÓN IÓNICA DEL AGUA DE LA CUENCA SAN JUAN.....	139



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi padre Constantino Melgarejo Paucar que, con todo su amor y esfuerzo me educó e inculcó el gusto por la ingeniería desde pequeña, a mi madre Manuela Quispe Ynga Salas que, con su amor, buenos valores, dedicación y esfuerzo me formó para ser una persona de bien en la sociedad, a mis hermanos Henry Melgarejo Quispe Ynga y Jorge William Melgarejo Quispe Ynga que con su ejemplo me guiaron y apoyaron en todo momento a lo largo de mi vida, ustedes familia son mi todo, los amo con todo el corazón.

También dedico esta tesis a mis familiares y amigos presentes y pasados, tanto de la universidad como de la vida, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías, tristezas y anécdotas conmigo, en especial a Vanessa, Emerson por apoyarme en este proyecto, a Diana y Evelin por su apoyo moral e incondicional.

Yanet Carolina Melgarejo Quispe Ynga

Esta tesis se la dedico a mi padre Hermojenes Huaman que desde el cielo me guía con su luz y a mi Madre Jacinta Quispe quien siempre estuvo a mi lado apoyándome en todo este proceso, a mi hermana Victoria Huaman y a mi cuñado Estevan Perez, a mis hermanos Juana Huaman y Fernando gracias por su apoyo incondicional, mis logros se los debo a ustedes.

A mis padrinos Velia Yabar y Rene Concha por su motivación y aliento y en especial a mi amigo Wilbert Paredes que desde arriba siempre me cuida y me guía por el buen camino; sé que está muy contento por mis logros.

A mi amigo Carlos Lopez por apoyarme con la información que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación y Pedro Quispe por su apoyo y motivación de día a día.

Por último, agradezco y se lo dedico todos mis amigos que estuvieron en todo este camino de mi carrera profesional, y a mis amigos del código, gracias a su apoyo experiencias compartidas me permitió culminar con empeño, dedicación y cariño contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito estos sueños anhelados.

Justino Huaman Quispe



AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por permitir que logremos este gran paso en nuestra vida profesional, a nuestros padres y hermanos que con su amor y consejos nos guiaron a ser personas de bien en la sociedad y por tanto buenos profesionales.

A nuestra alma mater la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco que es cuna de grandes pensadores e investigadores y a la Escuela Profesional de Ingeniería geológica por acogernos y enseñarnos durante nuestros años de educación superior.

A los docentes de nuestra Escuela profesional de Ingeniería Geológica por compartir sus experiencias y conocimientos a lo largo nuestra vida universitaria, en especial a nuestro asesor el ingeniero Edison Mattos Ojeda por motivarnos y orientarnos a la realización de este presente trabajo.

A nuestros compañeros del código 2015-II por todas las anécdotas compartidas y el apoyo mutuo en el transcurso de la carrera universitaria.

Finalmente agradecemos profundamente a todas las personas, amigos y familiares que nos apoyaron en la realización directa e indirecta de este proyecto de tesis, en especial al ingeniero Wilman Gallegos Berveño por su asesoramiento y guía en estos años de investigación, al señor Constantino Melgarejo Paucar y a la señora Manuela Quispe Ynga Salas por su apoyo y acogida en las salidas de campo.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación: “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021”, parte a raíz de los problemas por falta de abastecimiento del recurso hídrico en dicha población, por lo que se planteó objetivos para realizar un estudio hidrogeológico con el propósito de determinar el potencial hídrico.

En la cuenca San Juan hidrogeológicamente se han identificado acuíferos fisurados que pertenecen a la formación Kayra, Huancané que son de origen sedimentario, la formación Pachatusan y el macizo Urubamba de origen ígneo, los acuíferos no consolidados identificados son los depósitos fluviales y morrénicos, además encontramos acuitardos no consolidados que pertenecen a los depósitos aluviales, coluviales y los acuitardos sedimentarios pertenecen a las formaciones Quilque, Chilca, Maras, Puquín y Paucarbamba; se realizó un análisis hidroquímico por iones dominantes del agua donde se determinó que el agua de la cuenca es cálcica bicarbonatada sulfatada magnésica, también se hizo el análisis hidroquímico por el diagrama de potabilidad de Sholler-Berkaloff y se determinó que las aguas de la cuenca San Juan son aptas para consumo humano. La cuenca San Juan presenta un balance hídrico, entre los aportes y las pérdidas de agua en toda la cuenca hidrogeológica, el valor de -241.78 mm por año, este dato es un déficit de almacenamiento, el cual vendría hacer el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua. Finalmente se realizaron ensayos de sondeo eléctrico vertical por el arreglo de Schlumberger se determinó 5 litologías diferentes en donde 1 de ellos se le puede considerar acuífero como tal, con resistividades que varían entre 130-260 Ohmio-m, que según la interpretación geológica corresponde a areniscas saturadas de la formación Kayra con potencia mayor a 42 metros.

Palabras claves: hidrogeología, potencial hídrico, cuenca, acuífero.



CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1. UBICACIÓN

1.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

La zona de estudio se ubica en la zona sur del territorio peruano y se encuentra al Noroeste de la ciudad del Cusco, ubicado en el distrito de Yucay, provincia del Urubamba, región del Cusco.

1.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La cuenca de San Juan está ubicada geográficamente en la zona 18L, con datum WGS 1984, con las coordenadas geográficas y UTM siguientes:

Tabla 1

Coordenadas Geográficas

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
Latitud Sur	Longitud Oeste	Este	Norte
13°19'17.95"	72°4'58.93"	815393	8526004

Fuente: Elaboración propia

1.2. ACCESIBILIDAD

El acceso al distrito de Yucay, se realiza mediante la carretera principal asfaltada Cusco –Pisac-Calca-Yucay, con un recorrido aproximado de 60 km y el tiempo aproximado de viaje es de 1 h 20 min, también se puede acceder mediante la carretera asfaltada Cusco-Chincheros-Urubamba-Yucay, con un recorrido de 65 Km y un tiempo de recorrido de una hora.

Tabla 2

Accesibilidad

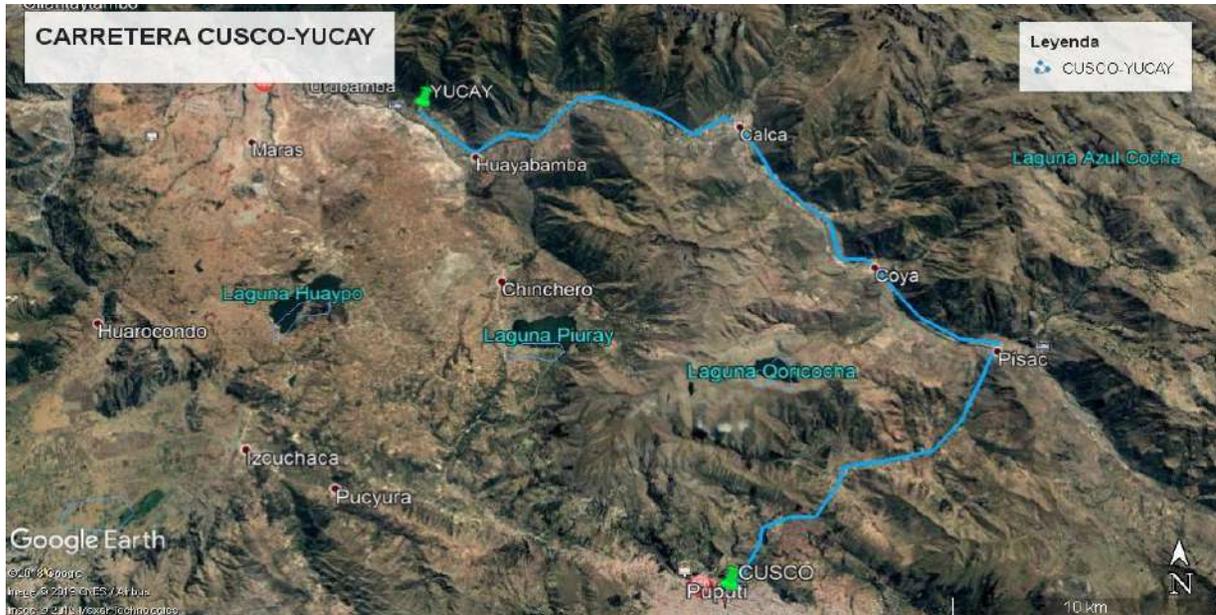
INICIO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VIA
UNSAAC	60 km	1 h 20 min	Carretera 3S

Fuente: Elaboración propia.



FIGURA N°: 1

Acceso al poblado de Yucay



Fuente: Google Earth

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Según el censo del INEI del 2017, el poblado de Yucay cuenta con 3223 habitantes y 749 viviendas que están organizadas en 6 sectores, actualmente todos cuentan con agua potable, sin embargo en las temporadas de sequía la presión con que llega el agua a las casas es muy baja, tanto que los fines de semana o feriados el agua no llega a algunos sectores y en días laborables el nivel de presión de agua en los sectores bajos puede llegar a 1 m y en los sectores altos disminuye la presión llegando a una altura menor de 0.30 m, esto ocurre porque durante el día hay mayor consumo de agua potable, además que el agua de la cuenca San Juan no solo es utilizado para consumo humano, sino también para riego en sectores donde no llega el agua del río Vilcanota, esto hace que el agua de consumo humano no abastezca de manera óptima a toda la población. Debido a la situación problemática expuesta, nace la necesidad de explorar el subsuelo donde geológicamente se conoce que existen potenciales hídricos debido a la



presencia de humedales y de esta manera buscar otras alternativas de solución a la carencia de agua para consumo humano en el poblado de Yucay.

1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el potencial hídrico existente en la cuenca San Juan?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVOS GENERALES

Realizar el estudio hidrogeológico en la cuenca San Juan para determinar el potencial hídrico en la zona de estudio con fines de mejorar el abastecimiento hídrico para consumo humano.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar unidades geomorfológicas de la cuenca San Juan.
- Determinar las unidades geológicas de la cuenca San Juan.
- Identificar las principales estructuras geológicas que influyen directamente en los acuíferos de la Cuenca San Juan.
- Realizar prospección geofísica mediante el método del sondeo eléctrico vertical (SEV) para identificar aguas subterráneas (acuíferos) en la cuenca San Juan.
- Identificar las diferentes fuentes de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca San Juan.
- Identificar y clasificar los diferentes tipos de acuíferos en la cuenca de San Juan.
- Analizar las características hidroquímicas del agua subterránea de la cuenca San Juan.
- Identificar las zonas de recarga y descarga de los acuíferos de la cuenca San Juan.
- Calcular el balance hídrico de la cuenca San Juan.
- Realizar modelamiento geológico, geofísico e hidrogeológico.

1.5. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN



La importancia del presente trabajo de investigación de tesis, permitirá que las autoridades gestora de la cuenca de San Juan puedan conocer el potencial hídrico existente, así como el resultado de los estudios hidrogeológicos que servirán como antecedentes para estudios y trabajos posteriores: captaciones de agua para consumo humano y/o riego tecnificado, manejo de cuenca, proyectos de forestación, etc. en la zona de estudio.

1.6. HIPÓTESIS

El estudio hidrogeológico permitirá determinar el potencial hídrico de aguas subterráneas por medio de las características geológicas, estructurales e hidrogeológicas existentes en la cuenca San Juan.

1.7. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Debido a la naturaleza de este estudio de investigación se ha definido las siguientes variables:

- Hidrogeología
- Potencial Hídrico

1.7.1. INDICADORES

VARIABLES	Hidrogeología	Geología	Estratigrafía
			Petrología
		Geología Estructural	Fallas y fracturas
		Geomorfología	Fisiografía
			Pendientes
		Hidrología	Precipitación
			Temperatura
	Evapotranspiración		
	Balance hídrico		
	Geofísica	Sondeo eléctrico vertical	
Potencial Hídrico	Calidad y tipo de agua		
	Profundidad de niveles freáticos		
	Volumen de agua		



1.8. METODOLOGIA DE TRABAJO

Los métodos empleados en la investigación son los siguientes:

- Descriptivo: Se describe el comportamiento de recurso hídrico y su distribución en la zona de estudio.
- Explicativo: Responde a las posibles causas y formula un modelo que explica los eventos físicos que habrían ocasionado la alteración del régimen de recurso hídrico en la zona de estudio.
- Científico: Realiza las observaciones de comportamiento geológico en campo, para la caracterización hidrogeológica y la interpretación de los resultados obtenidos del análisis químico.
- Deductivo: Con los datos obtenidos se dedujo el modelo hidrogeológico.

1.9. FASES DE ELABORACIÓN DEL ESTUDIO

1.9.1. FASE DE RECOPIACIÓN DE INFORMACION EXISTENTE

Para la etapa de investigación del estudio hidrogeológico se ha procedido con la revisión, recopilación de información existente en los siguientes archivos:

- Revisión de la información geológica regional (INGEMMET).
- Revisión de mapas regionales existentes.
- Recopilación de antecedentes históricos de la zona de estudio y de proyectos aledaños a la zona

Para el desarrollo de este estudio es necesario la preparación de mapas base: para poder recolectar in situ toda la información como la geología y poder realizar un cartografiado del área de interés con el objetivo de conocer las características propias del área con la ayuda de equipos instrumentos y softwares geológicos necesarios, también se realizó lo siguiente:

- Elaboración de mapas bases de la zona de estudio.
- Realización del cronograma de actividades del estudio.



- Planeamiento de la fase de campo.

1.9.2. FASE DE INVESTIGACIONES DE CAMPO

Esta fase se subdivide en tres etapas:

A. FASE PRECAMPO

- Dar a conocer los alcances del trabajo a la directiva de la comunidad en el ámbito de la zona de estudio.
- Determinar un cronograma tentativo de visitas a la zona de estudio
- Planificación de campo.

B. FASE CAMPO

En el transcurso del estudio hidrogeológico se ha desarrollado las siguientes investigaciones de campo:

- Identificar y delimitar la geología de la cuenca San Juan a través de la obtención de muestras de mano representativas de cada formación existente en la zona de estudio para realizar su respectiva descripción litológica.
- Reconocimiento y delimitación de la geología estructural (discontinuidades y deformaciones), mediciones de rumbos y buzamientos.
- Recolección de datos hidrológicos (medición de caudales).
- Recolección de datos hidrogeológicas (inventario de manantes, medición de caudales, muestra de agua, permeabilidad, registro de las características hidroquímicas del agua).
- Realización de prospección geofísica en distintos puntos de la zona de estudio mediante el método del sondeo eléctrico vertical (SEV).
- Toma de fotos de rasgos geológicos de importancia, para así afianzar el trabajo.

C. FASE DE GABINETE



En el transcurso del estudio hidrológico se ha desarrollado las siguientes investigaciones de gabinete:

- Procesamiento, interpretación de análisis de datos.
- Delimitación de acuíferos.
- Elaboración y digitalización de mapas y/o planos detallados según el requerimiento de los objetivos del presente trabajo.
- Elaboración de secciones geológico e hidrogeológico.
- Redacción de tesis.

1.10. ANTECEDENTES

La presente tesis tomara como estudios anteriores:

- Geología de los cuadrángulo de Urubamba y Calca, hojas 27-r y 27-s. (Carlotto V., Gil W. Cárdenas J., Chávez R.; 1996)
- Ficha técnica referencial de identificación de punto crítico sector Playapampa Accosca del río Vilcanota distrito Yucay, provincia de Urubamba, Cusco. (Yucay; 2020).
- Inventario de fuentes de aguas superficiales del río Vilcanota Ámbito de la ATDR Cusco, elaborado por la dirección regional de agricultura Cusco, administración técnica del distrito de riego Cusco y a la ANA (2004)
- La tesis: “Evaluación Hidrogeológica del distrito de Huayllabamba-Urubamba-Cusco”, presentado por Melissa Gamarra y Carlos Pantigozo para optar título profesional de Ingeniero Geólogo en la UNSAAC (2014).

1.11. MATERIALES Y EQUIPOS

A. MATERIAL CARTOGRAFICO

- Imagen satelital.
- Mapa base (curvas de nivel, hidrográfico, etc.).



B. MATERIALES DE CAMPO

- Tablero.
- Fichas de campo.
- Libreta de campo y lápices de color.
- Balde pequeño.
- Tubo de 2 pulgadas.
- Botellas esterilizadas.

C. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

- Equipos GPS.
- Brújula Geológica tipo Brunton
- Tablas de colores.
- Cinta métrica.
- Computadora personal.
- Software GIS (ArcGIS Pro– ArcMap), Geosoft (Target for ArcGIS), Leapfrog Geo, Ipi2Win, Global Mapper, AutoCAD, Google Earth, Sas Planet.
- Ácido clorhídrico.
- Cámara fotográfica.
- Rayador.
- Lupas de 10x y 20x
- Georesistivímetro WARGPOWER Modelo G-1124.
- Multiparámetro marca HANNA.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según las proyecciones estadísticas del INEI al 2017, la población de Yucay cuenta con 3223 habitantes y en la actualidad todos cuentan con el servicio de agua potable, sin embargo, en las temporadas de sequía el agua no llega de manera óptima a los hogares de la población, presentando disminución de presión de agua y a veces carencia de agua durante el día en algunos sectores. Por ello hay el interés de la búsqueda de recurso hídrico en la zona de estudio. Para lo cual se ha realizado la búsqueda de información de diferentes fuentes de estudios realizados respecto a abastecimiento de agua; de los cuales existen tales:

- El primer trabajo corresponde a la Municipalidad distrital de Yucay (2020) quien realizó: “Ficha técnica referencial de identificación de punto crítico sector Playapampa Accosca del río Vilcanota distrito Yucay, provincia de Urubamba, Cusco”. Este trabajo se le relaciona con la investigación de tesis planteada, ya que presenta datos geológicos e hidrológicos del distrito de Yucay que nos da un aporte para el desarrollo de la tesis.
- El segundo trabajo corresponde a la Dirección regional de agricultura Cusco, administración técnica del distrito de riego Cusco y a la ANA (2004) quienes realizaron: “Inventario de fuentes de aguas superficiales del río Vilcanota Ámbito de la ATDR Cusco”. Este trabajo presenta un inventariado de fuentes de aguas superficiales según la codificación Pfafstetter de la cuenca del río Vilcanota, donde encontramos a la Cuenca San Juan.
- El tercer trabajo corresponde al INGEMMET (1996), que realizó: “Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca (27r-27s)”. Este trabajo presenta diversos datos como la geología, geomorfología, geología estructural de manera de regional que servirá de guía para el trabajo de investigación.



- El cuarto trabajo corresponde a la tesis: “Evaluación Hidrogeológica del distrito de Huayllabamba-Urubamba-Cusco”, presentado por Melissa Gamarra y Carlos Pantigozo para optar título profesional de Ingeniero Geólogo en la UNSAAC. Este trabajo fue realizado en el distrito de Huayllabamba que colinda con el distrito de Yucay, por lo que los datos regionales geológicos, estructurales y geomorfológicos tienen bastante relación con la zona de estudio, de tal manera que este documento nos servirá de guía en el trabajo de investigación.

Por tanto, considerando que hay escasa información respecto a estudios hidrogeológicos del poblado de Yucay, se pretende realizar la presente tesis de investigación.

2.2. MARCO REFERENCIAL

GEOLOGIA REGIONAL

El proyecto de tesis “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO - 2021” regionalmente comprende formaciones geológicas que van de la edad del Triásico hasta el cuaternario. Cronológicamente la secuencia geológica que va desde la formación más antigua a la más reciente es de la siguiente manera: inicia con dos formaciones geológicas del Grupo Mitu, la formación Pisac (conformado por brechas y conglomerados que van intercalando con areniscas y limolitas rojas), la formación Pachatusan (constituida por rocas volcánicas como basaltos, ignimbritas y riolitas intercaladas con rocas sedimentarias de color rojo violáceo como conglomerados de conos aluviales y areniscas fluviales), luego se encuentra a la formación Huancané (compuesto por conglomerados, areniscas cuarzosas, y finos niveles de lutitas rojas o negras), posteriormente están dos formaciones del grupo Yuncaypata que son la formación Paucarbamba (formado por areniscas calcáreas, margas y lutitas amarillas, rojizas, verdes) y la formación maras (presenta intercalación de yesos con lutitas rojas y niveles delgados de caliza), la formación Puquín



(constituido por yesos laminados, nodulosos o en mallas, lutitas rojas, secuencia de calizas, lutitas negras orgánicas, pirita, tiene bancos arenosos fluviales intercaladas con lutitas, margas y calizas lacustres), seguidamente están las capas rojas de la Formación Quilque (presenta areniscas de color rojo y conglomerados formados por erosión de calizas) y la formación Chilca (constituido por areniscas feldespáticas fluviales, margas, lutitas rojas con láminas de yeso), más adelante está el grupo San Jerónimo con las formaciones Kayra (integrado por areniscas feldespáticas con intercalaciones de lutitas rojas) y Soncco (formado por areniscas con clastos volcánicos, areniscas finas, lutitas rojas), y finalmente se encuentran los depósitos cuaternarios constituido de material aluvial y fluvial.

FIGURA N°: 2

Estratigrafía regional de Yucay

Eono/Eon	Eratema/Era	Sist./Período	Serie/Epoca	Piso/Edad	Edad (Ma)	LITOLOGIA					
						Gp.	Formación				
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno			GRUPO YUNCAYPATA	Depositos Aluviales				
					0.0117						
		Paleogeno	Eoceno	Bartoniense		41.2	GRUPO YUNCAYPATA	Formación Kayra			
	Luteciense				47.9						
	Paleoceno		Selandiense		61.6	GRUPO YUNCAYPATA		Formación Quilque			
			Daniense		66						
	Mesozoico	Cretácico	Superior	Maastrichtiense		72.1±0.1	GRUPO YUNCAYPATA	Formación Puquin			
				Campaniense		83.6±0.1					
				Santonense		86.3±0.1					
			Inferior	Coniaciense					GRUPO YUNCAYPATA	Formación Maras	
								-113		Formación Paucarbamba	
				Aptiense				-126		GRUPO MITU	Formación Huancane
				Barremiense				-129.4			
				Hauteriviense				-132.3			
				Valanginiense				-139.8			
				Aalenense				174.1±1.0		GRUPO MITU	Formación Pachatusan
	Inferior	Toarciense			182.7±0.7						
Pliensbachiense				190.5±1.0							
Sinemuriense				199.3±0.3							
Hettangiense				207.3±0.2							
Triásico	Superior	Rhaetiense			GRUPO MITU	Formación Pisac					
		Noriense					-209.8				
					-227						

Fuente: INGEMMET



GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Regionalmente el distrito de Yucay se localiza en el borde Suroeste de la Cordillera Oriental y el límite con las Altiplanicies. El río Vilcanota corta la Cordillera Oriental, desarrollando en la margen derecha un relieve abrupto, en tanto en la margen izquierda es menos accidentada, y se encuentra desarrollando fenómenos de deslizamientos.

CORDILLERA ORIENTAL

La población de Yucay se localiza en el límite de las Altiplanicies y la Cordillera Oriental, pero las montañas y nevados al Norte de la población se localizan en plena Cordillera Oriental. Esta unidad geomorfológica está rodeada de fallas NO-SE, los nevados se encuentran en la parte más elevada, donde el nevado San Juan (4850 m.s.n.m.) colinda con el nevado Chicón (5530 m.s.n.m.) y Pumahuancca (5330 m.s.n.m.) formando las crestas más altas que rodean Urubamba y le dan un paisaje natural sorprendente. El nevado San Juan aguas abajo presenta una quebrada principal denominado con el mismo nombre por donde fluye el río San Juan, donde su desembocadura forma un cono aluvial formado por diferentes aluviones, cuyo origen está en relación al retroceso de los glaciares de los nevados, sismos y cambios climáticos. Las rocas que afloran en la Cordillera Oriental de la zona de estudio son metamórficas del Paleozoico inferior, rocas vulcano-sedimentarias del Grupo Mitu (Permo-Triásico), e igualmente rocas de edad Meso-Cenozoicas y depósitos cuaternarios. Donde la tectónica presenta fallas inversas, cabalgamientos y pliegues.

ALTIPLANO O ALTIPLANICIES

Esta unidad corresponde a una zona con relieves relativamente planos cuyas altitudes varían entre 4,200 y 4,300 msnm, presentando algunas cumbres que se alinean entre 4,200 y 4,400 msnm. Las Altiplanicies están mejor desarrolladas al sur de la zona de estudio (cuadrángulos de Cotabambas y Cusco), en tanto que en los Cuadrángulos de Urubamba y Calca



se halla su borde norte, el que limita con la Cordillera Oriental. El límite es bastante irregular y se hace a través de varias geoformas.

Se han diferenciado las siguientes geoformas: la Depresión de Anta, la Pampa de Maras, las Montañas de Cusco y la Depresión de Limatambo. Las geoformas pueden estar separadas, en algunos casos, por fallas NO-SE.

VALLE DEL VILCANOTA – ZONA INTERMEDIA ALTIPLANO

El valle del Vilcanota considerado como un valle interandino se puede dividir en dos segmentos, la zona de estudio se encuentra en el primero que va de San Salvador a Pachar, donde constituye el límite entre las Altiplanicies y la Cordillera Oriental, este presenta una dirección SEE a NOO, el inicio del valle presenta una altitud de 3000 m.s.n.m. con terrazas amplias como las de Pisac, Lamay, Calca, Arín, Huarán; Huayllabamba y Yucay, donde el tramo corresponde a un valle ancho que en algunos lugares sobrepasa los 1000 m mostrando una evolución madura, donde sus cauces forman canales entrelazados, los bordes presentan conos aluviales, como el de la quebrada San Juan y las vertientes son moderadamente suaves a empinadas, el segundo segmento se dirige de Pachar a Machu Picchu.

En el primer tramo el valle presenta una dirección preferencial SEE a NOO. El inicio del valle está a una altitud de 3,000 msnm, con terrazas amplias, como las de Pisac, Lamay, Arín, Huarán, Huayllabamba y Yucay; mientras que el segundo tramo aparece a una altitud de 2,262 msnm.

El primer tramo corresponde a un valle ancho, que en algunos sectores sobrepasa los 1,000 m, mostrando una evolución madura cuyo cauce forma canales entrelazados. Las vertientes son moderadamente suaves a empinadas.

Los principales afluentes del río Urubamba lo constituyen los ríos Jochoc, Huaynapata, Carmen, Patacancha en su parte septentrional, mientras que en su parte meridional lo



constituyen los ríos Pahuayoc, Huarcocondo, Silque y Cusichaca, los que presentan un drenaje subparalelo. Los afluentes de estos ríos secundarios presentan un drenaje dendrítico.

Fotografía 1:

El valle del Vilcanota – zona intermedia altiplano y una parte del altiplano



Fuente: Propia

Nota: Ubicación del área de estudio tomado de Carlotto et al. (2010).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA LA EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los métodos geofísicos son utilizados para caracterizar la hidrogeología del subsuelo ya sea mediante el uso de técnicas en la superficie (métodos eléctricos, sísmicos, gravimétricos, magnéticos, electromagnéticos) o por técnicas de perforación (registros geofísicos de pozo); con los procesos geofísicos se puede investigar varios parámetros, entre ellos la heterogeneidad de la conductividad hidráulica, parámetro de gran importancia para la caracterización de la zona vadosa. **(Hernández A., 2017).**

En Geofísica se usan varios métodos para los diferentes estudios de aguas subterráneas que dependen del objetivo de estudio, extensión y duración, así como también de la disponibilidad del equipo utilizado. Entre los métodos geofísicos más utilizados se encuentran los métodos geoeléctricos, métodos electromagnéticos, métodos sísmicos y en menor medida



Magnetometría y Gravimetría; las cuales también son de gran utilidad los registros geofísicos de pozos. Los métodos geofísicos se usan principalmente para determinar las características más importantes de un acuífero, además de su tamaño y distribución como son: la litología existente en el acuífero tanto su zona vadosa como su zona de saturación, así como estructuras geológicas que afecten al acuífero como pueden ser las fallas. Existen además estudios de mayor detalle como la estimación de propiedades más específicas como son la distribución de la conductividad hidráulica en el acuífero, estudios en los que se ha comprobado la relación entre parámetros geofísicos y los parámetros hidráulicos; sin embargo, la relación entre estos parámetros es compleja ya que depende de muchos factores como el tipo de material, el contenido de humedad, el tamaño de poro, la conductividad eléctrica del agua presente en el medio, entre otros factores; por otra parte también depende del método geofísico usado, así como también de pruebas de laboratorio necesarias para calibrar ecuaciones y fórmulas las cuales generalmente son empíricas. **(Hernández A., 2017).**

SONDEO ELECTRICO VERTICAL

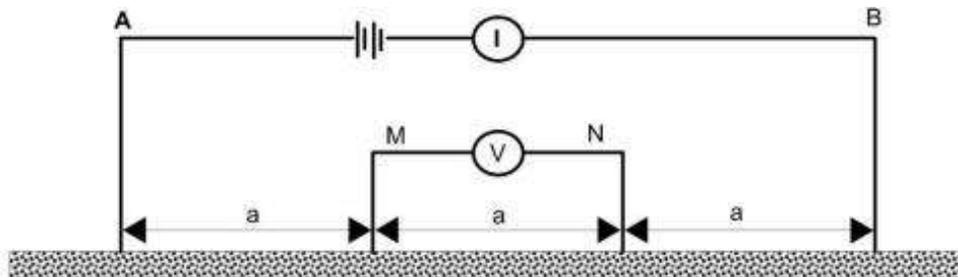
Se conoce como sondeo eléctrico vertical (SEV) a una serie de mediciones de la resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción de corriente. En las configuraciones de adquisición, dos electrodos se usan para energizar el suelo y dos electrodos para medir la diferencia de potencial. La correlación entre la corriente inyectada, la diferencia de potencial medida y un coeficiente geométrico relativo a la disposición de los 4 electrodos determina el valor de la resistividad aparente en el sitio. Este valor de resistividad aparente corresponde a una cierta profundidad, función de la separación entre los electrodos, su configuración y de las secuencias electrostratigráficas investigadas. Estos factores y los objetivos de investigación determinan la programación de la longitud o extensión del sondeo. Existe una variedad de arreglos que pueden

usarse incluso se pueden personalizar dependiendo del objetivo de estudio y de las condiciones del lugar, se describen a continuación algunos ejemplos.

- **Arreglo Wenner:** Todos los electrodos se encuentran sobre la misma línea y todos tienen la misma distancia de separación entre ellos; se inicia con una distancia de separación “a” elegida a conveniencia del objetivo de estudio y de las condiciones del lugar, así como del espacio disponible; para obtener las demás lecturas se usan aberturas en múltiplos de la abertura inicial “a” generalmente enteros por ejemplo “2a”, “3a” etc. Entre las ventajas de este arreglo es su sensibilidad para detectar cambios verticales en la resistividad, además de tener una intensidad de señal grande, entre las desventajas que tiene el arreglo es la realización de este arreglo en campo, que requiere el desplazamiento de los cuatro electrodos a distancias incluso mayores que el arreglo Schlumberger. (Hernández A., 2017).

FIGURA N°: 3

Arreglo Wernner, (Hernández A., 2017)



Fuente: <https://n9.cl/ora0i>

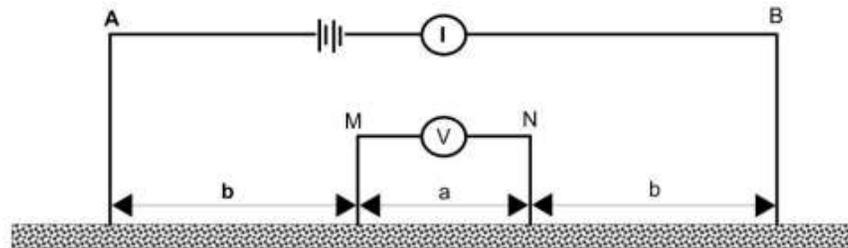
- **Arreglo Schlumberger:** A diferencia del arreglo anterior los electrodos de potencial permanecen fijos mientras que los electrodos de corriente son los que se van desplazando para obtener las distintas lecturas de diferencia de potencial, la distancia “n” permanece fija y puede incluso tomar el valor de 1. Las ventajas de este arreglo están en que es idóneo para localizar cambios laterales y una realización más cómoda con



respecto al arreglo Wenner, sin embargo, una de sus desventajas es la intensidad de señal mucho menor, lo que lo hace sensible al ruido. (Hernández A., 2017).

FIGURA N°: 4

Arreglo Schlumberger, (Hernández A., 2017).



Fuente: <https://n9.cl/ora0i>

HIDROGEOLOGIA

Hidrología subterránea es aquella parte de la Hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre. (Custodio E. / Llamas M. ,1983).

CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por un parte aguas o divisoria de las aguas -aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad-, en donde ocurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboken en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua,



suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con éstos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por Cuencas, (**Ley de Aguas Nacionales, 2011**).

CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS SEGÚN EL SISTEMA DE CODIFICACIÓN PFAFSTETTER

El Sistema de Codificación Pfafstetter fue desarrollado por Otto Pfafstetter en 1989, difundido a partir de 1997 por Verdin y adoptado a partir de entonces por la United State Geological Survey (USGS – Servicio Geológico de los Estados Unidos), como estándar internacional. Es una metodología para asignar identificadores a las unidades de drenaje basado en la topología de la superficie del terreno; dicho de otro modo, asigna códigos a una cuenca para relacionarla con sus cuencas vecinas, locales o internas. (**ANA, 2006**).

- **CARACTERÍSTICAS DE LA METODOLOGÍA**

El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos (punto de confluencia de ríos), o desde el punto de desembocadura de un sistema de drenaje en el océano. A cada unidad hidrográfica se le asigna un específico código Pfafstetter, basado en su ubicación dentro del sistema de drenaje que ocupa, de tal forma que éste es único dentro al interior de un continente. Este método hace un uso mínimo de la cantidad de dígitos en los códigos, la longitud del código depende solamente del nivel que se está codificando. Este sistema de codificación permitirá, asimismo, una eficiente codificación de la red hidrográfica. (**ANA, 2006**).

- **CONSIDERACIONES BÁSICAS DEL SISTEMA**

De acuerdo con el sistema Pfafstetter, existen tres tipos de unidades de drenaje: cuencas, cuencas y cuencas internas.



a) Cuenca, Región terrestre a manera de una depresión o concavidad que abarca la zona en la que todas las aguas freáticas y superficiales drenan en el mismo cuerpo de agua (por ejemplo, un río o un arroyo), y que comprende todas las vertientes de captación del agua y todos los tributarios del río principal con sus respectivas subcuencas. De forma y origen diversos, la cuenca está sujeta al proceso de sedimentación de un río. En general se le da el nombre de cuenca a cualquier depresión de la litosfera, esté cubierta o no por agua. Pueden ser exorréicas o endorreicas, arréicas y criptorréicas. Además de las descritas en los textos que siguen, existen también cuencas acumulativas, artesianas, cratónicas, de aguas freáticas, de barrera, de captación, de drenaje, de evaporación, de mar marginal, de recepción, experimental, glaciárica, intermontana, lacustre, oceánica, rift, tectónica, termokárstica, volcánica-erosiva (**CONANP, 2006**).

b) Cuenca, es un área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, exclusivamente, del curso del río considerado como el principal, y permite el paso de este hacia la unidad de drenaje contigua hacia aguas abajo. En otras palabras, una cuenca, es una unidad de drenaje de tránsito del río principal.

c) Cuenca interna, es un área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua.

La distinción entre río principal y tributario es en función del criterio del área drenada. Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que posee la mayor área drenada entre ambos. Denominándose cuencas, a las áreas drenadas por los tributarios y a las áreas restantes drenadas por el río principal. (**CONANP, 2006**).

- **EL PROCESO DE CODIFICACIÓN**

Consiste en subdividir una cuenca hidrográfica, cualquiera que sea su tamaño, identificando y delimitando los cuatro mayores afluentes del río principal, en función del área que



comprenden sus respectivas unidades hidrográficas. Las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumeradas o codificadas con los dígitos pares 2, 4, 6 y 8, en el sentido de aguas abajo hacia aguas arriba, es decir desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas cuencas, que se codifican en el mismo sentido con los dígitos impares 1, 3, 5, 7 y 9. **(ANA, 2006)**.

Cada una de las cuencas, que resultan de la primera subdivisión, pueden a su vez ser subdivididas de la misma manera, de modo que la subdivisión de la cuenca 8 genera al interior de la misma las cuencas de códigos 82, 84, 86 y 88 y las cuencas 81, 83, 85, 87 y 89. El mismo proceso se aplica a las cuencas resultantes de la primera división, de modo que la cuenca 3, por ejemplo, se subdivide en las cuencas de códigos 32, 34, 36 y 38 y en las cuencas 31, 33, 35, 37 y 39. Los dígitos de la subdivisión son simplemente agregados al código de la cuenca que está siendo dividida. **(ANA, 2006)**.

- **ALGUNAS PARTICULARIDADES DEL MÉTODO**

Una complicación puede aparecer en la codificación de las dos unidades más altas del río principal. En este caso a la unidad que presenta mayor área de drenaje se le asigna el código “9” y a la otra, más pequeña, el código “8”. Esta particularidad del método permite identificar la cuenca donde se origina el río, que para el caso corresponde al código 9. **(ANA, 2006)**.

HIDROQUÍMICA

La utilización de la hidroquímica en los estudios hidrogeológicos se fundamenta en el postulado según el cual, la composición química del agua subterránea es el resultado combinado de la composición del agua que ingresa al acuífero y sus reacciones con los minerales presentes en la roca a través de la cual circula y en contacto con la que ha estado almacenada o, con sustancias contaminantes que afectan su calidad. **(Appelo y Postma, 1999)**



Los procesos que afectan la composición química del agua subterránea afectan la evaporación-evapotranspiración, la toma selectiva de iones por las plantas, la decadencia de la materia orgánica, la meteorización y la disolución de minerales, la precipitación de sustancias en suelos y acuíferos, las reacciones de intercambio iónico, los procesos de oxido-reducción, los procesos de mezcla de aguas de diferente origen y la actividad antrópica. Considerar a la precipitación como primera fuente de entrada a los sistemas hidrogeológicos, es necesario evaluar la composición de la lluvia, determinada por la fuente de vapor de agua, por los iones adquiridos por él durante el transporte a través de la atmósfera y la disolución de gases. La evapotranspiración ocasiona concentración en el agua a infiltrarse y, durante este proceso a través del suelo el agua adquiere su principal marca química, allí el agua es ácida por la reacción con CO₂ y ello la hace más hábil para disolver carbonatos y alterar silicatos. En la zona saturada normalmente el agua se torna básica y menos agresiva. En el acuífero el tiempo de residencia varía y la evolución del agua, depende de los minerales con los que esté en contacto y del tiempo de residencia que, a la vez, está relacionado con la velocidad del flujo. Para realizar la interpretación de la química de las aguas subterráneas se utilizan parámetros de campo como temperatura, PH, conductividad y Eh; de igual manera se requiere conocer la concentración de los iones mayoritarios de sodio, potasio, calcio, magnesio, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos; se utilizaron argumentos adicionales a partir del conocimiento de la presencia de compuestos minoritarios, trazas, compuestos microbiológicos, orgánicos y volátiles. Se requiere contar, además, con información acerca de la geología y mineralogía del medio acuífero. **(Betancur, 2011)**

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

La composición química de las aguas subterráneas puede verse afectada por la infiltración de sustancias, en fases sólidas o líquidas, producidas a partir de actividades de carácter antrópico; o por el contrario, estar asociada a procesos naturales, y por ende la



incorporación de una o varias sustancias a medida que fluye el agua a través del medio que la contenga.

El enriquecimiento natural del agua subterránea depende en gran parte de la capacidad de dilución del fluido (**Freeze & Cherry, 1979**) (disponibilidad y tipo de sustancias disueltas, velocidad y temperatura antes y durante el flujo, superficie y duración de contacto), además, podría afectarse por las propiedades composicionales, texturales y estructura de las rocas, suelos y sedimentos por los cuales circule (**Foster, Stephen; Hirata, Ricardo; Gomes, Daniel; D’Elia, Monica; Paris, 2002**).

Generalmente, es conocido que el 99% del contenido de los solutos en las aguas subterráneas naturales corresponde a 9 elementos mayoritarios que se complementan con iones minoritarios y elementos traza, que completan el 100% de los solutos presentes; sin embargo, bajo condiciones fisicoquímicas especiales algunos elementos minoritarios podrían alcanzar concentraciones superiores y de esta manera constituir un elemento mayoritario, tal es el caso del pozo UPTC, en donde el contenido de Fe supera las concentraciones de algunos elementos mayoritarios. La proporción de cada uno de los constituyentes iónicos del agua refleja la trayectoria del flujo del agua subterránea y su evolución hidrogeoquímica (**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014**).

PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS O GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica, ante eventos climáticos, y con la generación de una respuesta a los mismos, como ser la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran. (**Gaspari, 2012**).



La Morfometría de Cuencas resulta de gran utilidad permitiendo determinar la semejanza de los flujos de diferentes tamaños, su fin radica en aplicar los resultados de los modelos elaborados en pequeña escala a prototipos de gran escala y hacer los comparativos necesarios **(Chow et al., 1994)**.

Área (A). Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido, directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en km². Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor. **(Cardona, 2016)**

Perímetro (P) Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros. **(Cardona, 2016)**

Longitud de la cuenca (L) Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. **(Cardona, 2016)**

Ancho de la cuenca (B) Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca. **(Cardona, 2016)**

Clima: “es el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y evolución del tiempo, en el curso de un periodo suficientemente largo en un dominio espacial determinado”, según la organización meteorológica mundial. **(Wendor C.,1989)**.

En sentido estricto, se puede definir como “estado medio del tiempo” o, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de las cantidades pertinentes durante periodos que pueden ser de meses a miles de



años. El periodo normal es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Las cantidades aludidas son casi siempre variables de la superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento), aunque en un sentido más amplio el “clima” es una descripción (incluso una descripción estadística) del estado del sistema climático. **OMM/UNESCO (2014).**

PARÁMETROS CLIMÁTICOS.

PRECIPITACIÓN

1) Elementos líquidos o sólidos procedentes de condensación o sublimación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositados desde el aire en el suelo. **OMM/UNESCO (2014)**

2) Cantidad de precipitación caída sobre una unidad de superficie horizontal por unidad de tiempo. **OMM/UNESCO (2014)**

TEMPERATURA

Magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. **(OMM.,2002).**

HUMEDAD RELATIVA

Se define como la relación (expresado en porcentaje) entre la cantidad de vapor de agua que tiene el aire y la que tendría si estuviera saturado. **(Valdivia E.,1977).**

RADIACIÓN SOLAR

Desde el punto de vista ecológico tiene gran importancia, ya que esta energía condiciona los diferentes grados de calor o temperatura en los diferentes lugares y de esta manera propicia condiciones limitantes para el desarrollo de las plantas. **(Valdivia E.,1977).**

EVAPORACIÓN



Proceso por el que el agua pasa de líquido a vapor a una temperatura inferior a la del punto de ebullición. **(OMM/UNESCO (2011)).**

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Es la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. Los mismos factores que dominan la evaporación desde una superficie de agua abierta también dominan la evapotranspiración, los cuales son: el suministro de energía y el transporte de vapor. **Chow V.T. (1994).**

GEOMORFOLOGÍA

"Rama de la geología que estudia las formas superficiales de la tierra. Describiéndolas, ordenándolas sistemáticamente e investigando su origen y desarrollo". **Rioduero E. (1995).**

MAPA GEOMORFOLÓGICO

La geomorfología proporciona una información organizada y precisa de las formas del terreno y de los procesos geodinámicas o de erosión que con ellas se relacionan. Por ello, su elaboración requiere un análisis preliminar de la geología. Sobre el cual se superponen las formas del terreno en función a los procesos que le dieron origen.

La esencia del mapa geomorfológico es proporcionar información morfo genética, dicha información representada en polígonos diferenciados, está asociada a las características geológicas, por tanto, la elaboración de ambos mapas se complementa y explica de mejor manera los matices geológicos en forma y en el contenido. **(Marocho, et al; 2014).**

PENDIENTES

El mapa de pendientes representa la distribución espacial de los niveles de inclinación del terreno, constituye un ejercicio cartográfico de suma importancia porque su determinación es el paso primordial para elaborar mapas de relieve o fisiografía además la pendiente es el factor



de delimitación principal en los que al superponer los mapas litología, geotecnia, cobertura vegetal. Suelos; nos permitirá inferir en el grado de estabilidad de los taludes, el comportamiento hidrológico y la distribución de las actividades económicas como el agropecuario, forestal. etc.

(Marocho, et al; 2014)

GEOLOGÍA

Es la Ciencia de la Tierra que estudia la dinámica, composición del planeta. Tiene además una parte aplicada muy importante, relacionada al estudio de la génesis, la materia que lo configura y los procesos que actúan, o han actuado sobre él.

"La Geología es esencialmente una ciencia histórica y difiere de la Física, de la Química y de la Biología en que son limitadas sus posibilidades para experimentar", **(R. W. van Bemmelen, 1961.)**

"La Geología es Historia. Quizá más que cualquier otra característica única, el factor tiempo distingue a la Geología de otras ciencias", J. Sheldon, 1958. "La Geología fue la primera ciencia a la que le intereso la historia de la naturaleza más que su orden. Aquel carácter histórico hizo de la Geología un tipo de ciencia diferente que fue apreciado desde sus inicios", **(Ch. C. Gillispie, 1951).**

HIDROLOGÍA

La Hidrología (del griego hydor - agua) es la disciplina científica dedicada al estudio de las aguas de la Tierra. Incluyendo su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico, y las interacciones con los seres vivos. También trata de las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases. **(Navarro J., 2009).**

EL CICLO HIDROLÓGICO



El ciclo hidrológico del agua comienza con la evaporación a la atmósfera del agua del mar, sigue con las lluvias, continua con la evaporación y evapotranspiración (vuelta a la atmósfera desde el suelo o desde la vegetación). La escorrentía (corrientes esporádicas que la lluvia produce en k>s ríos). la infiltración y circulación subterránea (fenómeno lento, de días, hasta décadas y hasta milenios en ocasiones), las nacientes (que mantienen los ríos y descargan el agua subterránea) y finalmente los usos consuntivos por el hombre y la descarga de los ríos al mar. El ciclo se cierra volviendo el agua al mar o a la atmósfera. **(Custodio G., Román E. y L., 1999).**

OFERTA HÍDRICA GENERADA

Las relaciones lluvia - escurrimiento se utilizan principalmente para el diseño, los pronósticos y la evaluación. Si los datos de escurrimientos no están disponibles o son insuficientes para una interpretación o extrapolación fiables, las relaciones lluvia - escurrimiento pueden ser muy Útiles porque permiten extraer la información de escurrimiento a partir de los registros de precipitación. Como los datos de lluvia son relativamente fáciles y poco costosos de recoger, son generalmente más abundantes que los datos de escurrimiento. Si se puede establecer una relación estrecha entre lluvia y escurrimiento para una cuenca determinada, la relación lluvia escurrimiento, aplicada a los datos de lluvia. Puede dar estimaciones más fiables de la frecuencia de grandes caudales que los que puede dar una relación regional entre las crecidas o una extrapolación basada en los datos de escurrimientos de la cuenca. **(Marocho, et al; 2014)**

Las relaciones lluvia-escurrimiento usualmente se establecen en dos etapas: la determinación del volumen de escurrimiento que resulta de un volumen de lluvia producido durante un periodo de tiempo dado, y la distribución del volumen de escurrimiento en función del tiempo. La primera etapa es necesaria debido a la división de la lluvia en evapotranspiración,



infiltración y escurrimiento. La segunda se requiere para tomar en cuenta el tiempo de recorrido y la atenuación de la onda de escurrimiento que se genera por la lluvia. **(Marocho, et al; 2014)**

DEMANDA HÍDRICA

Cantidades de agua previstas para su distribución a los usuarios en períodos de tiempo determinados para usos específicos y a un precio dado. **(OMM/UNESCO, 2011).**

BALANCE HÍDRICO

a) Evaluación de los aportes y descargas de agua de un acuífero o una cuenca hidrográfica para un periodo de tiempo determinado.

b) Cálculo numérico basado en el principio de que el flujo de salida de una cuenca hidrográfica o masa de agua determinadas debe ser igual al flujo de entrada más o menos la variación en el almacenamiento. **(OMM/UNESCO, 2011).**

Balance o estado de los recursos hidráulicos de una región, por una parte, la precipitación y los anuentes. Y por otra. El agua que sale se evapora y acumula **(OMM/UNESCO, 2011).**

HIDROGEOLOGÍA

Los acuíferos consisten en sistemas de rocas o formaciones geológicas, homogéneas o heterogéneas, Con espacios huecos, ya sean estos poros o ya sean grietas o fracturas, llenos de agua. En general; lo que identifica una unidad acuífera, o un sistema acuífero en el sentido de hacerlo diferente de otro es que dentro de cada uno de ellos existe continuidad física del agua contenida en la zona de saturación; Es decir, saltando de una molécula de agua a otra molécula contigua puede recorrerse todo el sistema. **(Rodrigo C.,2005).**

En función de las características de las rocas (según Custodio, 1996), se puede hacer la siguiente clasificación:



- Acuífugo: No posee capacidad de circulación ni de retención de agua.
- Acuitardo: Contiene agua y la transmite muy lentamente.
- Acuicludo: Contiene agua en su interior, incluso hasta la saturación, pero no la transmite.
- Acuífero: Almacena agua en los poros y circula con facilidad por ellos.

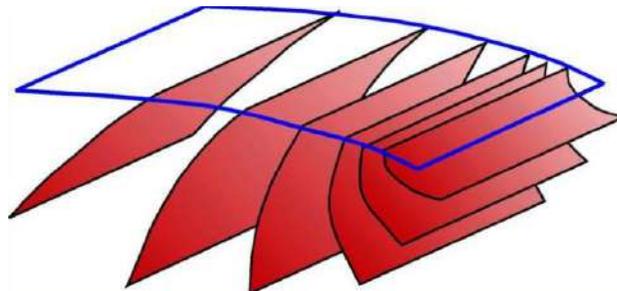
DIRECCIÓN DE FLUJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El agua subterránea fluye a través de los medios porosos como rocas y suelos permeables hacia niveles más bajos debido a la gravedad, sin embargo, debido a que la permeabilidad de cada material es aleatoria puede cambiar de un sector a otro en diversas direcciones, debido a eso es complejo estudiarlo, sin embargo, se puede analizar de manera esquemática para trazarlos mediante redes de flujo.

Las redes de flujo son constituidas por líneas equipotenciales y líneas de flujo. Las líneas equipotenciales son superficies geométricas donde los puntos tienen igual potencial hidráulico por tanto el agua fluye libre y constante.

FIGURA N°: 5

Redes de flujos



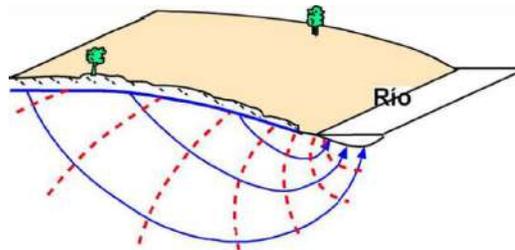
Fuente: Sánchez F. (2011). *Hidráulica subterránea: Principios básicos*. Departamento geología. Universidad de Salamanca. Pag 3.



Las líneas de flujo son curvas compuestas por líneas perpendiculares a las equipotenciales por las que se mueve el agua, a medida que esta se transporta cambia su potencial y velocidad en un determinado tiempo, estas líneas son importantes porque nos permite identificar las zonas de recarga de los acuíferos.

FIGURA N°: 6

Líneas de flujo



Fuente: Sánchez F. (2011). *Hidráulica subterránea: Principios básicos*. Departamento geología. Universidad de Salamanca. Pag 3.



CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGÍA

3.1. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

De acuerdo al mapeo en campo, ayudados por imágenes satelitales y datos como las altitudes de la Cuenca de San Juan, se han distinguido las siguientes subunidades geomorfológicas locales: Cauce del río, Montaña con cobertura glaciar, Montaña en roca intrusiva, Montaña en roca sedimentaria, Montaña en roca volcano-sedimentaria, Morrenas, Terraza aluvio-coluvial, Valle glaciar, Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial.

Tabla 3:

Tabla resumen de la geomorfología local

GEOFORMAS	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUB UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SÍMBOLO
De carácter técnico-degradaciones y erosional	Montañas	Montaña con cobertura glaciar	RM-cgl
		Montaña en roca intrusiva	RM-ri
		Montaña en roca sedimentaria	RM-rs
		Montaña en roca volcano-sedimentaria	RM-rvs
De carácter deposicional y agradacional	Planicies, depresión y otros	Terraza aluvio-coluvial	T-ac
	Valle	Valle glaciar	VII-gl
	Piedemontes	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	P-at
		Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	V-cd
		Morrenas	Mo
	Cuerpos de agua	Cauce del río	Cause de río

Fuente: Propia

A continuación, pasaremos a definir cada una de las subunidades Geomorfológicas:

3.1.1. MONTAÑA CON COBERTURA GLACIAR

Las Montañas con cobertura glaciar son una cadena de cumbres altas que se hallan al norte de la zona de estudio, yendo desde los 4600 msnm hasta los 4800 msnm aproximadamente y se asocia generalmente a avalanchas de roca y nieve con flujo de detritos.

3.1.2. MONTAÑA EN ROCA INTRUSIVA



Las Montañas en roca intrusiva son las que están dispuestas sobre la roca granito que se hallan al noroeste de la zona de estudio, yendo desde los 4200 msnm hasta los 4600 msnm aproximadamente y se asocian a procesos de erosión de laderas, caída de rocas, derrumbes flujo de detritos y deslizamiento.

3.1.3. MONTAÑA EN ROCA SEDIMENTARIA

Las Montañas en roca sedimentaria comprenden gran parte de la zona de estudio, están compuestas por la formación Kayra, Quilque, Chilca y Puquín que se hallan al Norte en la parte intermedia de la zona de estudio, yendo desde los 3000 msnm hasta los 4100 msnm aproximadamente y se asocian a deslizamientos, flujos de detritos, avalanchas de rocas y derrumbes.

3.1.4. MONTAÑA EN ROCA VOLCANO-SEDIMENTARIA

Las Montañas en roca volcano-sedimentaria son las que están dispuestas sobre el grupo Mitu, estas se hallan en los dos flancos al norte de la zona de estudio, yendo desde los 3950 msnm hasta los 4800 msnm aproximadamente y se han asociado a la ocurrencia de procesos de erosión de ladera, flujos de detritos, mega deslizamientos, movimientos complejos, derrumbes y caída de rocas.

3.1.5. TERRAZA ALUVIO-COLUVIAL

La terraza aluvio-coluvial en la zona de estudio se encuentra sobre la acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos sub angulosos a angulosos de diferente composición, yendo desde los 2850 msnm hasta los 2950 msnm aproximadamente y se ha asociado a los bordes de las terrazas como consecuencia de la erosión lateral de la corriente fluvial de los ríos; inundaciones que afectan a las terrazas bajas.

3.1.6. VALLE GLACIAR

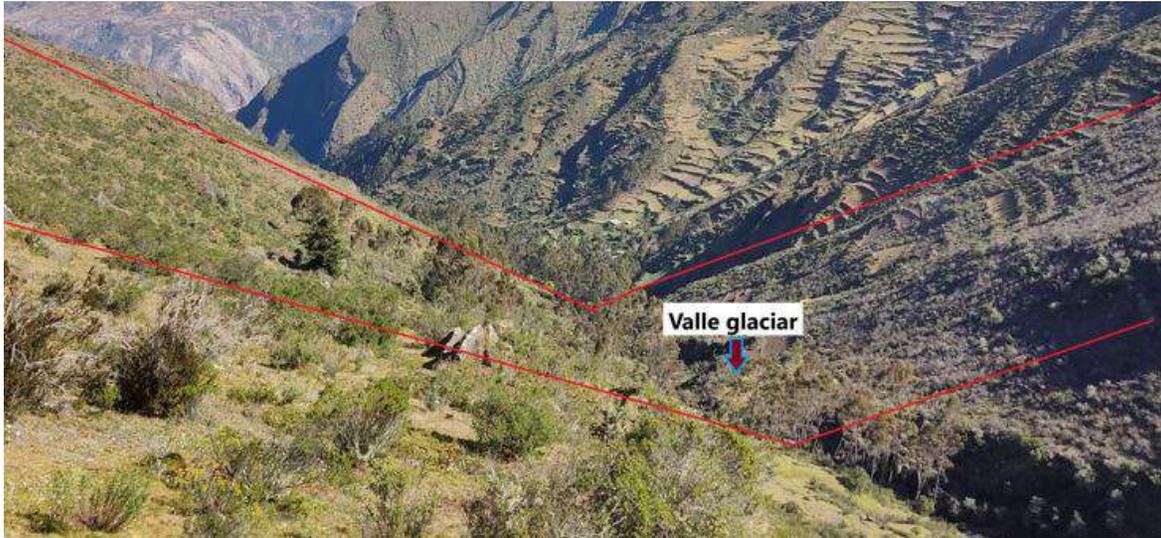
El valle glaciario en la zona de estudio es el resultado de la erosión del terreno por el paso de un glaciar formando valles característicos con forma de “U”, yendo desde los 3800 msnm



hasta los 4250 msnm aproximadamente, adicionalmente en nuestra zona se puede apreciar morrenas laterales y frontales.

Fotografía 2:

Valle glaciar en la cuenca San Juan



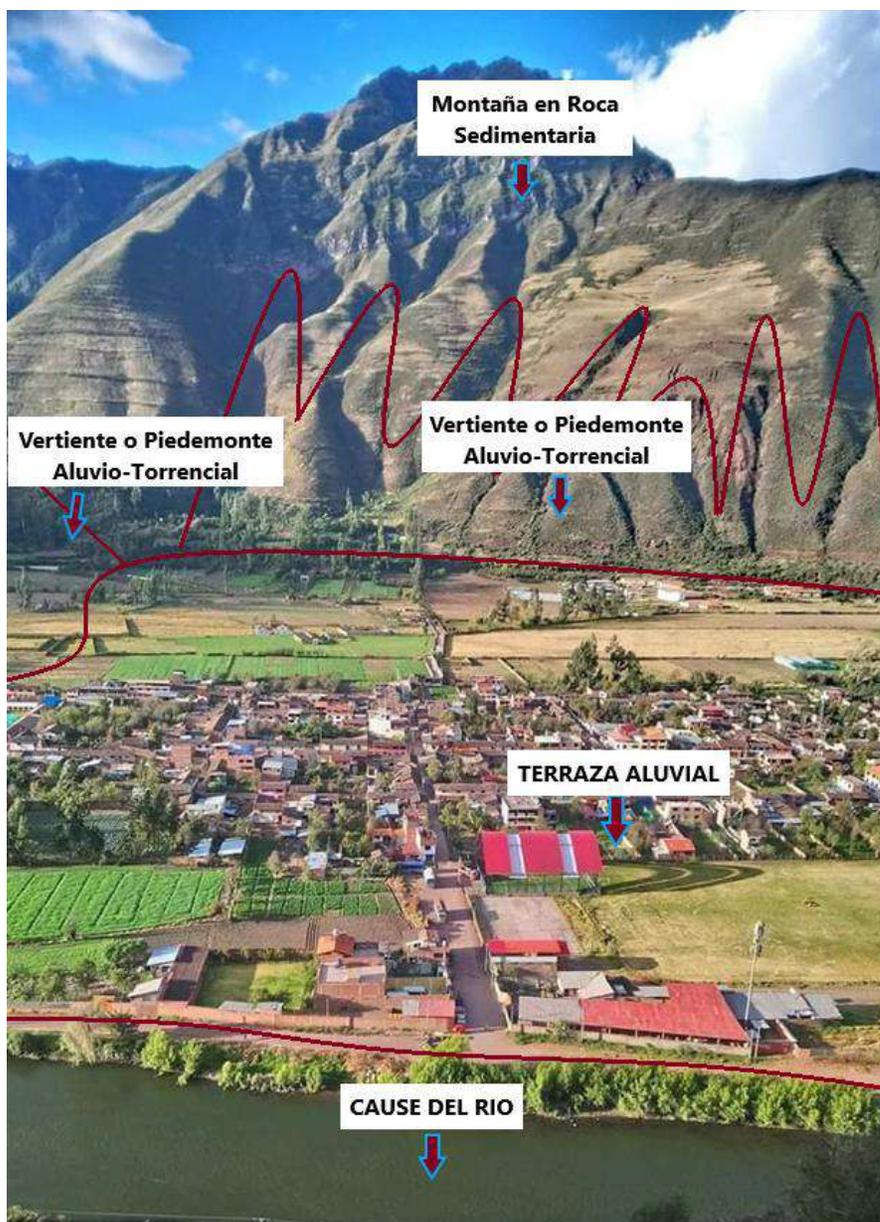
Fuente: Propia

3.1.7. VERTIENTE O PIEDEMONTE ALUVIO-TORRENCIAL

La vertiente o piedemonte aluvio torrencial se presenta con una forma de cono aluvial, en la zona de estudio está sobre la acumulación de grava y clastos subangulosos a angulosos de diferente composición, yendo desde los 2950 msnm hasta los 3300 msnm aproximadamente y se asocian a flujos de detritos.

Fotografía 3:

Vista panorámica geomorfológica del poblado de Yucaj



Fuente: Propia

3.1.8. VERTIENTE O PIEDEMONTA COLUVIO-DELUVIAL

El vertiente o piedemonte coluvio deluvial se encuentra por la parte baja sobre el grupo San Jerónimo, yendo desde los 3000 msnm hasta los 3250 msnm aproximadamente y se asociado a la ocurrencia flujos de detritos.



Fotografía 4:

Vertiente coluvio deluvial



Fuente: Propia

3.1.9. MORRENAS

Las morrenas se presentan con una forma alargada en la parte norte central de la zona de estudio, se encuentran sobre el grupo Mitu, yendo desde los 3800 msnm hasta los 4300 msnm aproximadamente y están asociados a flujos de detritos, derrumbes, reptación de suelos, flujos de tierra y deslizamiento.

3.1.10. CAUCE DEL RÍO

El cauce del río San Juan divide a las montañas del Cusco mediante una quebrada. En la desembocadura de esta quebrada, sobre depósitos de varios conos aluviales se emplaza una parte de la población de Yucay, así como las zonas de expansión y terrenos agrícolas. Esta unidad se debe a la construcción de varios aluviones procedentes de la quebrada San Juan.

3.2. MAPA DE PENDIENTES



Para la elaboración del mapa de pendientes se tomó en cuenta el “Reglamento de Clasificación de Tierras MINAG – 2002”, que considera 8 tipos de pendientes, desde plana o casi al nivel a extremadamente empinadas; para los fines del presente estudio se han distinguido las siguientes pendientes: Plano o casi nivel o allanada (0-2%), ligeramente inclinado (2 – 4%), fuertemente inclinada (8 – 15%), moderadamente empinado (15 – 25%), empinada (25 – 50%), muy empinada (50 - 75%) y extremadamente empinadas (>75%) . (Ver LM-3); los cuales se indican en el cuadro siguiente:

Tabla 4:

Clasificación de pendientes

SIMBOLOGÍA	RANGO (%)	TERMINO DESCRIPCIÓN	AREA KM2	AREA (%)
A	0 - 2	Plano o casi nivel o allanada	2.437	10.008
B	2 - 4	Llano a Ligeramente inclinado	0.713	2.929
C	4 - 8	Moderadamente inclinadas	0.415	1.706
D	8 - 15	Fuertemente inclinadas	0.870	3.571
E	15 - 25	Moderadamente empinadas	0.406	1.665
F	25 - 50	Empinadas	5.092	20.908
G	50 - 75	Fuertemente empinadas	9.210	37.818
H	Mas de 75	Extremadamente empinadas	5.210	21.394

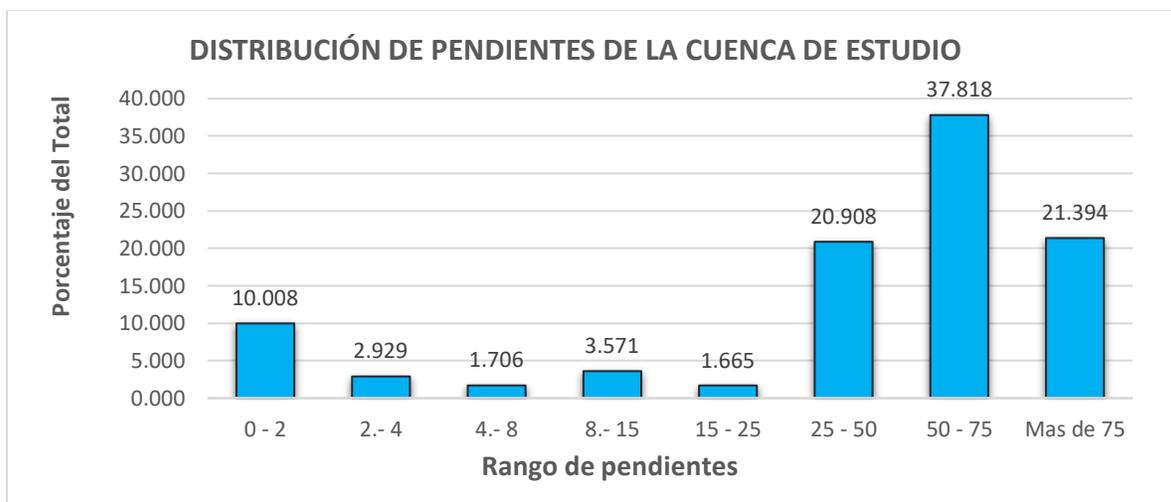
Elaboración: propio

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras MINAG - 2002.



FIGURA N°: 7

Diagrama de distribución de pendientes de la cuenca San Juan



Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior se observa que la pendiente más predominante es la fuertemente empinada (50-75%) seguidamente está la extremadamente empinadas (> 75%), sumando más de la mitad del total, es así que podemos concluir que en la cuenca predominan los terrenos con pendiente fuertemente empinado.

A. PLANO O CASI NIVEL O ALLANADA

Corresponde a pendientes que tienen una inclinación de la superficie de los suelos con respecto a la horizontal, que varían en los rangos de 0 – 2%. En la cuenca san juan representa el 10.008% del total de la superficie.

B. LLANO O LIGERAMENTE INCLINADO

Corresponde a las pendientes que tienen una inclinación de la superficie del suelo con respecto a la horizontal, que presentan rangos que varían de 2 – 4%. En la cuenca San Juan las pendientes ligeramente inclinadas se encuentran mayormente en la parte sur de la zona de estudio, en toda la cuenca San Juan estas pendientes corresponden al 2.929% del área total.

C. MODERADAMENTE INCLINADAS



Corresponde a pendientes que tienen una inclinación de la superficie de los suelos con respecto a la horizontal, que varían en los rangos de 4 – 8%. En la cuenca de estudio representa el 1.706% del total de la superficie.

D. FUERTEMENTE INCLINADA

Corresponde a pendientes que tienen una inclinación de la superficie de los suelos con respecto a la horizontal, que varían en los rangos de 8 – 15%. En la cuenca de estudio representa el 3.571% del total de la superficie.

E. MODERADAMENTE EMPINADA

Corresponde a pendientes que tienen una inclinación de la superficie de los suelos con respecto a la horizontal, que varían en los rangos de 15 – 25%. En la cuenca de estudio representa el 1.665% del total de la superficie.

F. EMPINADA

Corresponde a pendientes que tienen una inclinación de la superficie de los suelos con respecto a la horizontal, que varían en los rangos de 25 – 50%. En la cuenca de estudio representa el 20.908% del total de la superficie.

G. FUERTEMENTE EMPINADA

Corresponde a pendientes que tienen una inclinación de la superficie de los suelos con respecto a la horizontal, que varían en los rangos de 50 – 75%. En la cuenca de estudio representa el 37.818% del total de la superficie.

H. EXTREMADAMENTE EMPINADA

Corresponde a pendientes que tienen una inclinación de la superficie de los suelos con respecto a la horizontal, donde sus rangos son más del 75%. En la cuenca de estudio representa el 21.394% del total de la superficie.

CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA

4.1. GEOLOGÍA LOCAL

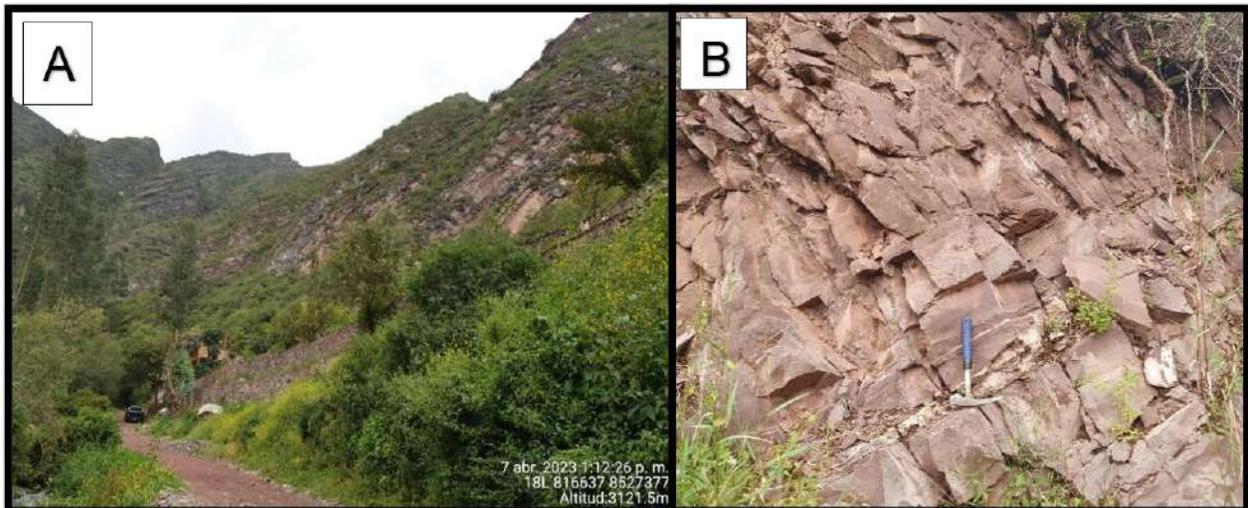
Según la cartografía de campo que se realizó en la cuenca San Juan, se identificaron las siguientes unidades estratigráficas locales: formación Kayra, Quilque, Chilca, Puquín, Paucarbamba, Maras, Huancané, Pachatusan y depósitos cuaternarios que están representados por material aluvial, coluvial, fluvial y glaciar.

GRUPO SAN JERÓNIMO

Según Córdova, 1986. El grupo San Jerónimo tiene una gruesa serie roja de origen continental de más de 6000 metros de grosor que aflora en la región del Cusco, abarcando los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Este grupo en la zona de estudio se encuentra al suroeste de la cuenca San Juan, se presentan bajo un único conjunto que corresponde a la formación Kayra, que litológicamente son una alternancia de areniscas y lutitas rojas con algunos bancos de conglomerados.

Fotografía 5:

Areniscas de la formación Kayra



Nota: En la foto A se observa una vista panorámica de la formación Kayra. En la foto B se observa a más detalle las areniscas con costras y venillas de calcita de la formación Kayra.

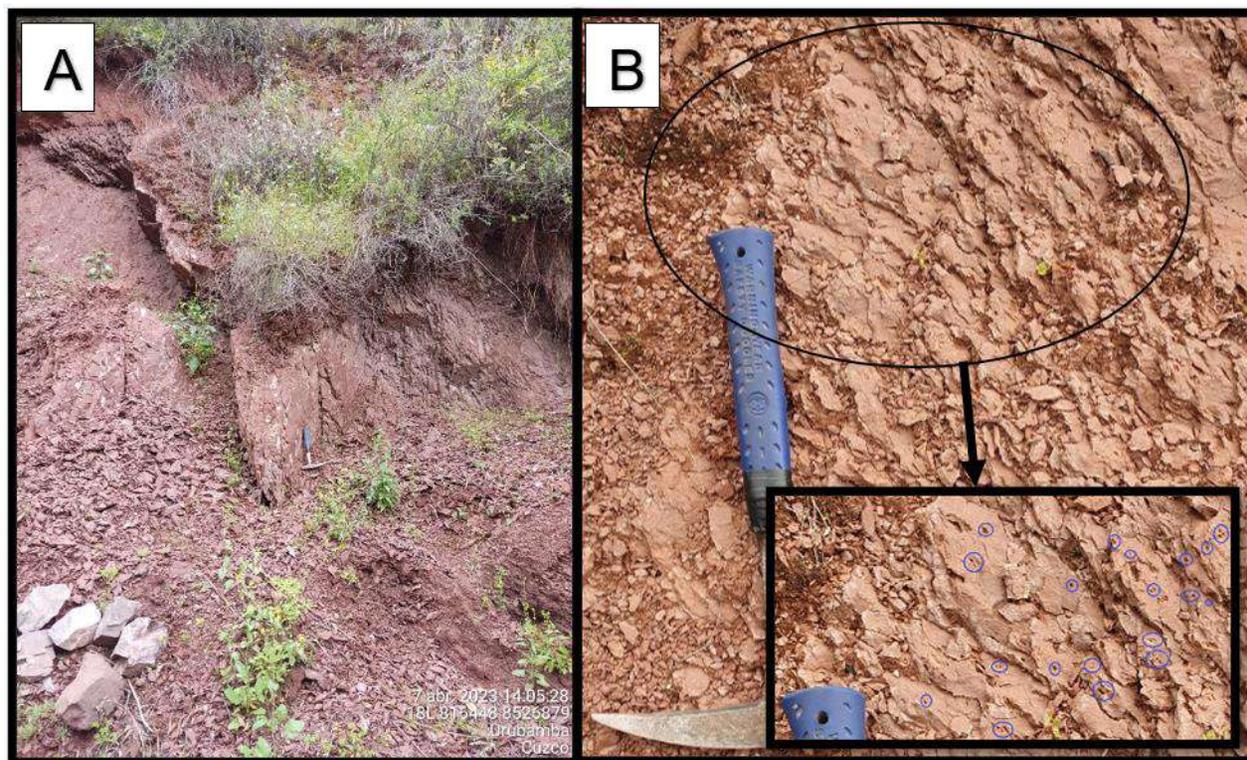
Fuente: Propia

FORMACIÓN KAYRA

Según Carlotto, 2002, la formación Kayra forma parte de la edad del Eoceno inferior, esta formación abarca gran cantidad del área de estudio, y en su gran mayoría se encuentra cubierto por material cuaternario; se encuentra aflorando al suroeste de la cuenca San Juan. Litológicamente está representada principalmente por areniscas feldespáticas de grano medio a fino con intercalaciones de lutitas rojas, ambos tienen venillas de calcita; también presenta algunos bancos de conglomerados. Este conjunto se desarrolló en un medio fluvial.

Fotografía 6:

Lutitas de la formación Kayra

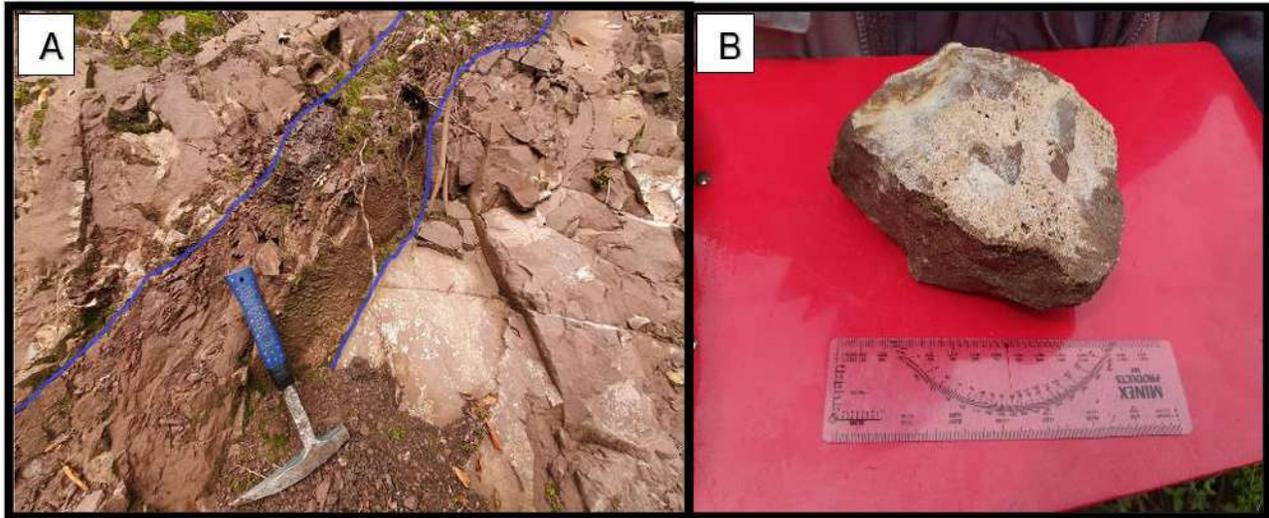


Nota: En la foto A se observa el afloramiento de lutitas rojas de la formación Kayra. En la imagen B se puede observar a más detalle que las lutitas presentan oquedades producto de la segregación de carbonatos.

Fuente: Propia

Fotografía 7:

Areniscas de la formación Kayra



Nota: En la foto A se observa la intercalación de arenisca de grano fino con lutitas rojas, ambos presentan calcita en forma de venillas y costras. En la foto B se observa una muestra de mano de arenisca fina con costras de calcita.

Fuente: Propia

FORMACIÓN QUILQUE

Según (Carlotto et al., 1992; Jaillard et al., 1994) la formación Quilque pertenece a la edad Paleoceno inferior y reposa en discordancia erosional sobre la formación Puquín. Litológicamente en la zona de estudio la formación Quilque está representada por areniscas de color rojo, lutitas y conglomerados con contenido de calcita.

Fotografía 8:

Formación Quilque



Nota: En la foto se observa arenisca rojiza de grano fino de la formación Quilque, con presencia de calcita en forma de venillas y costras, el afloramiento tiene un azimut N155°.

Fuente: Propia

FORMACIÓN CHILCA

Según Carlotto & etal, (1996), esta unidad se encuentra en los mismos lugares donde aflora la Formación Quilque, además asumen que la formación chilca es de la edad paleoceno superior- Eoceno, la formación Chilca está constituido por areniscas feldespáticas fluviales, margas, lutitas rojas con láminas de yeso. En la zona de estudio encontramos arenisca rojiza de grano fino con pequeñas venillas de yeso, intercalando con lutitas.



Fotografía 9:

Formación Chilca



Nota: En la foto se observa la intercalación de arenisca rojiza de grano fino y lutita de la formación Chilca.

Fuente: Propia

GRUPO YUNCAYPATA

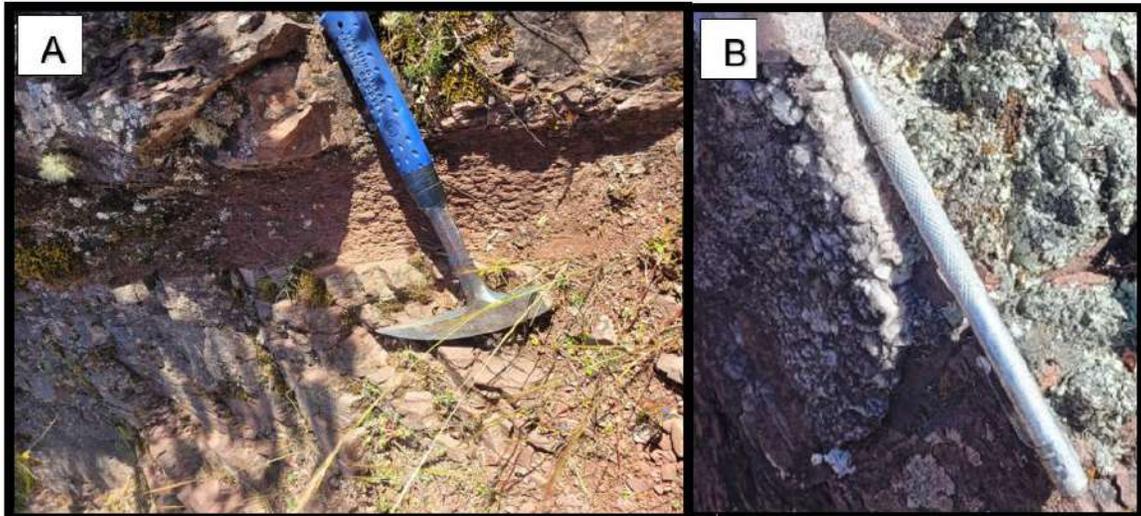
Según Carlotto et al., (1996), el grupo Yuncaypata ha sido dividido en 4 formaciones: formación Paucarbamba, formación Maras, formación Ayavacas y formación Puquín, de los cuales en la zona de estudio encontramos los siguientes:

FORMACIÓN PAUCARBAMBA

Según a (Chávez, 1995), esta formación está constituida por una alternancia de areniscas calcáreas, margas, lutitas amarillas, rojizas y verdes. En la zona de estudio la formación Paucarbamba está constituida por una intercalación de lutitas calcáreas rojas y verdes con areniscas calcáreas de grano fino a medio.

Fotografía 10:

Formación Paucarbamba



Nota: En la foto A se observa la intercalación de arenisca calcárea de grano fino y lutita rojiza. En la foto B se observa arenisca con costras de calcita de la formación Paucarbamba.

Fuente: Propia

Fotografía 11:

Lutitas de la formación Paucarbamba



Nota: En la foto se observa una intercalación de lutitas rojas con lutitas verdes de la formación Paucarbamba.

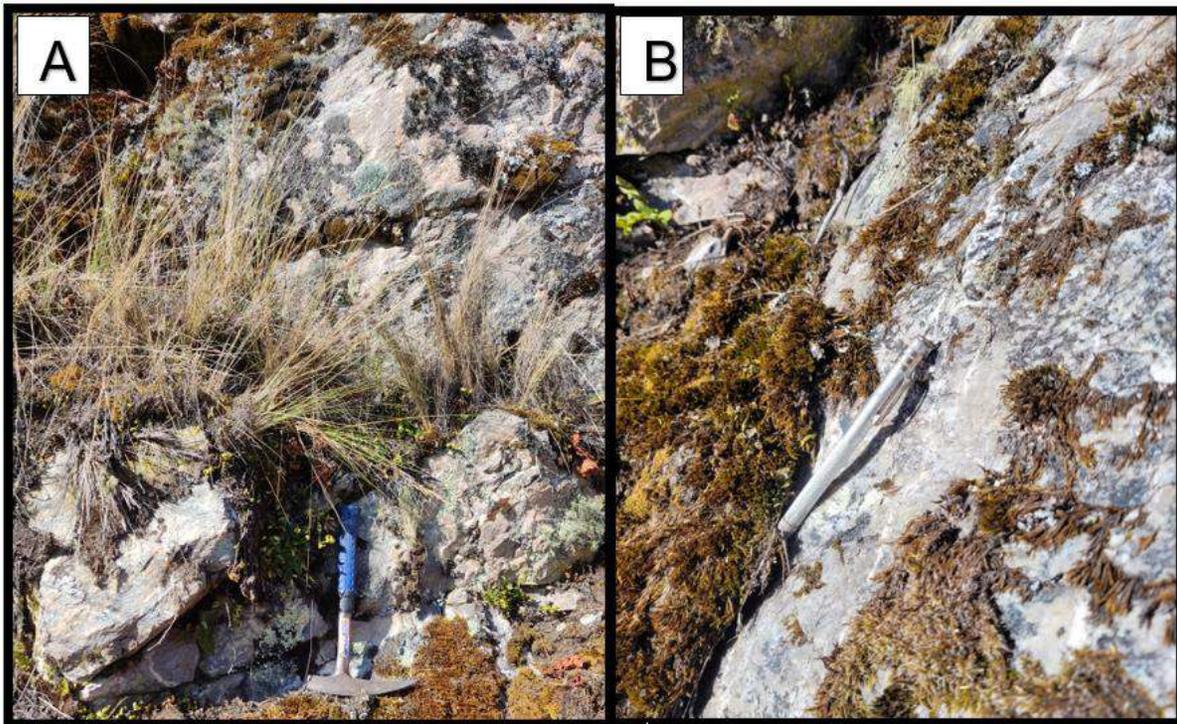
Fuente: Propia

FORMACIÓN MARAS

Según (Carlotto, 1996), esta formación está compuesta por yesos intercalados con lutitas rojas, escasamente presenta lutitas verdes y algunos niveles de calizas de grosores delgados. En la zona de estudio encontramos yeso y caliza en proceso de marmolización donde se observa la recristalización de la calcita.

Fotografía 12:

Afloramiento de la formación Maras



Nota: En la foto A se observa afloramiento de yeso de la formación Maras, la foto B se observa caliza marmolizada de la formación Maras.

Fuente: Propia



Fotografía 13:

Yeso de la Formación Maras



Nota: En la foto se ve a más detalle el yeso de la formación Maras.

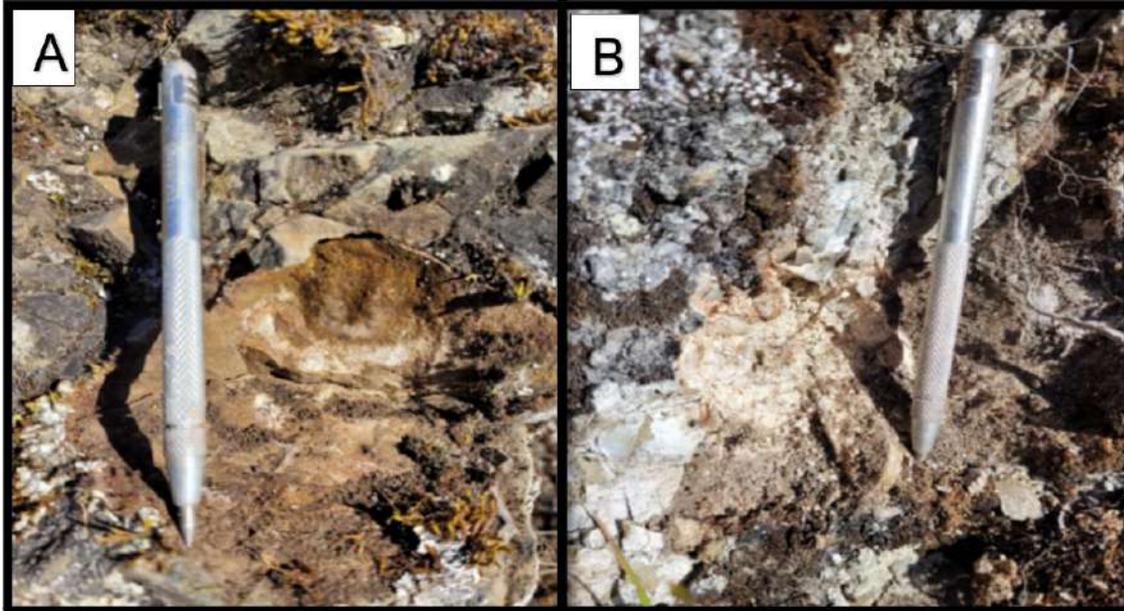
Fuente: Propio

FORMACIÓN PUQUÍN

Según (Carlotto et al., 1992) la formación Puquín litológicamente está constituido por yesos laminados, nodulosos o en mallas, lutitas rojas, secuencia de calizas, lutitas negras orgánicas, piritas, tiene bancos arenosos fluviales intercaladas con lutitas, margas y calizas lacustres. En la zona de estudio encontramos areniscas calcáreas de grano fino con intercalación de margas.

Fotografía 14:

Formación Puquín



Nota: En la foto A se observa la intercalación de arenisca de grano medio a fino con margas, en la foto B se observa arenisca y margas a más detalle de la formación Puquín.

Fuente: Propia

Fotografía 15:

Margas de la formación Puquín





Nota: En la foto se observa margas color blanco amarilento de la formación Puquín..

Fuente: Propia

FORMACIÓN HUANCANÉ

Según (Carlotto et al., 1996), la formación Huancané reposa en discordancia erosional directamente sobre el grupo Mitu, está compuesta por areniscas conglomeradas, areniscas cuarzosas de color blanco, niveles finos de lutitas rojas o negras. En la zona de estudio esta formación está conformada por areniscas conglomeradas con intercalación de lutitas rojas.

Fotografía 16:

Formación Huancané



Nota: En la fotografía se observa el afloramiento de lutita roja de la formación Huancané.

Fuente: Propia

GRUPO MITU

Según (Candia & Carlotto, 1985; Carlotto et al., 1988), el grupo Mitu está definido por 2 formaciones Pisac y Pachatusan, en la zona de estudio se identificó:

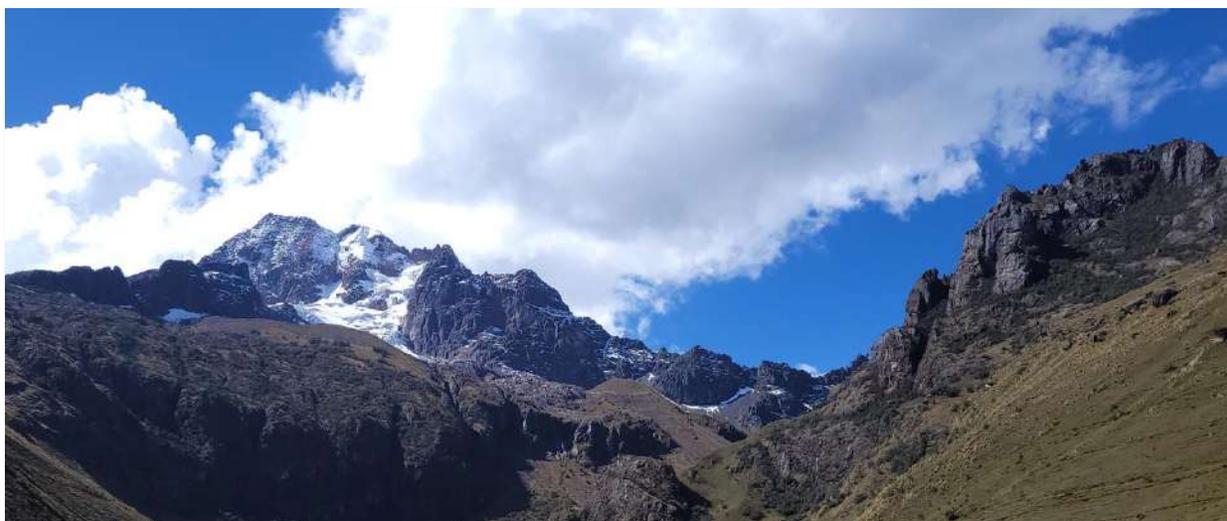


FORMACIÓN PACHATUSAN

Según (Gregory, 1916), esta formación está constituido por brechas, aglomerados y coladas volcánicas de basaltos, riolitas e ignimbritas, estas rocas volcánicas se intercalan con rocas sedimentarias, caracterizándose por su color rojo violáceo “concho de vino” que permite reconocerlas rápidamente en el campo, como conglomerados de conos aluviales y areniscas fluviales. Las rocas volcánicas, las tobas, lapilli y coladas de color rojo violeta, generalmente están descritas como andesitas, ignimbritas y basaltos. En la zona de estudio se encontró riolita color violáceo con presencia de cuarzo. Encima de esta formación se encuentra una parte del nevado San Juan.

Fotografía 17:

Formación Pachatusan

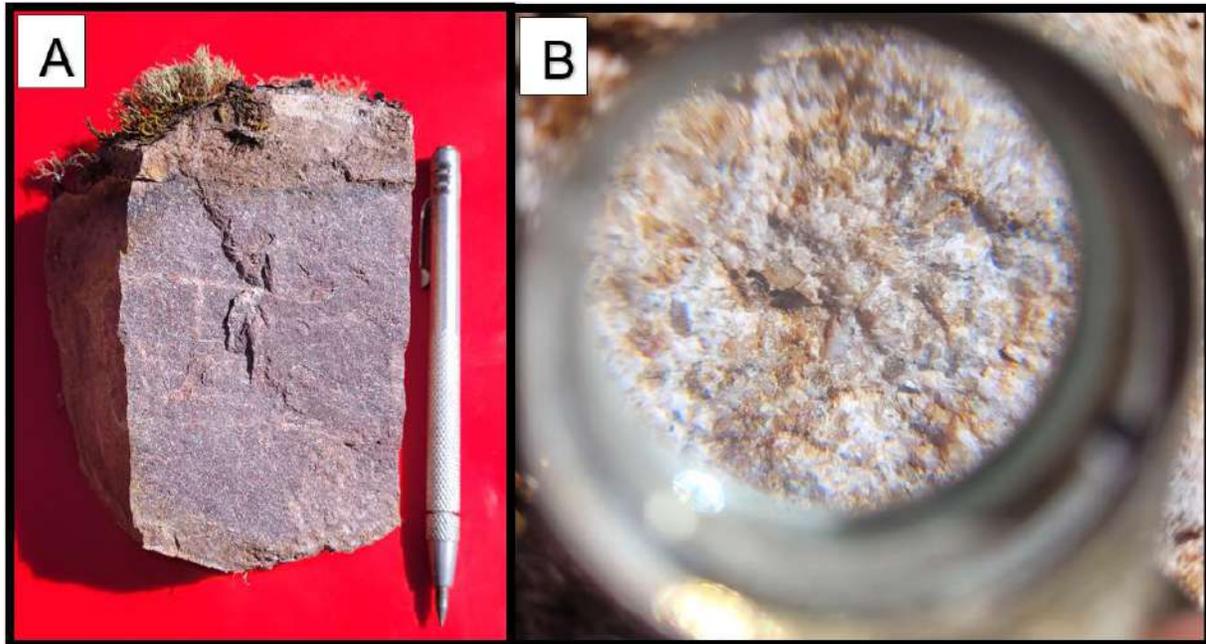


Nota: En la foto se el nevado San Juan que reposa en rocas volcánicas de la formación Pachatusan.

Fuente: Propia

Fotografía 18:

Muestra de mano de la formación Pachatusan



Nota: En la foto A se observa una muestra de mano de una riolita de la formación Pachatusan, en la foto B se observa a detalle la presencia de cuarzo en la riolita.

Fuente: Propia

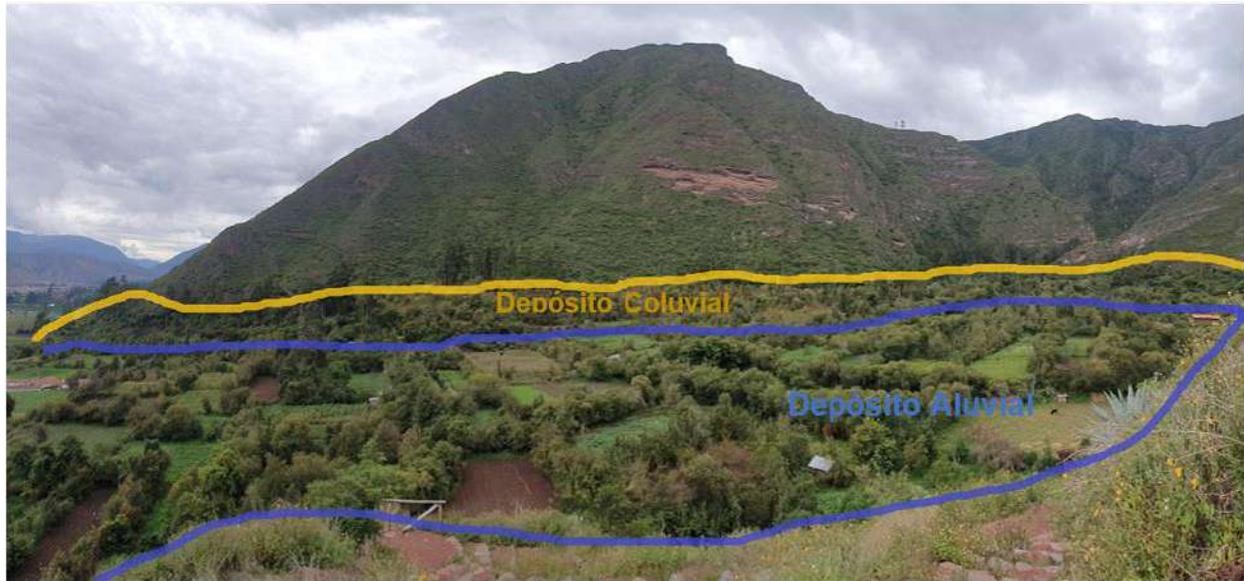
DEPOSITOS CUATERNARIOS

Los depósitos cuaternarios que se encuentran en la cuenca San Juan están representados en gran cantidad por material aluvial, fluvial y de menos extensión encontramos depósitos coluviales y glaciares.



Fotografía 19:

Vista panorámica de los depósitos cuaternarios.



Nota: En la foto panorámica se observa los depósitos cuaternarios de la cuenca San Juan.

Fuente: Propia

DEPOSITOS ALUVIALES: (Q-al)

Este material abarca gran extensión en el transcurso y la desembocadura del río San Juan, representado por un cono aluvial que está adosado principalmente a la desembocadura de la quebrada San Juan adyacente al río Vilcanota, que fue producto de un cambio repentino de pendiente. Litológicamente está compuesto por bloques y gravas de areniscas, envueltos en una matriz areno-limoarcillosa.



Fotografía 20:

Material de depósito aluvial



Nota: En la foto se observa material de depósito aluvial, presenta gravas de areniscas en una matriz limo-arcillosa con clastos subangulosos de hasta 15 cm de diámetro.

Fuente: Propia

DEPOSITOS FLUVIALES

Corresponde a antiguos depósitos de llanuras de inundación, estos depósitos se encuentran adyacentes al curso de los ríos San Juan y Vilcanota. Estos depósitos están conformados por bloques, cantos rodados y gravas envueltas en una matriz areno limoso.

Fotografía 21:

Depósitos fluviales



Nota: En la foto A y B se observa material fluvial del río San Juan.

Fuente: Propia

Fotografía 22:

Material limo arenoso fluvial



Nota: En la foto se observa material arenoso con presencia de limo que se encuentra a las orillas del río Vilcanota.

Fuente: Propia

DEPOSITOS COLUVIALES

Corresponde a acumulaciones locales que no han sufrido mucho transporte ya que son producto de la descomposición in situ de las rocas, estas se depositan en laderas y cabeceras de terrazas aluviales, está conformado por gravas angulosas en una matriz limo-arcillosa, las gravas son principalmente areniscas.

Fotografía 23:

Material coluvial



Nota: En la foto se observa material de deposito coluvial, presenta gravas angulosas de areniscas en una matriz limo-arcillosa.

Fuente: Propia

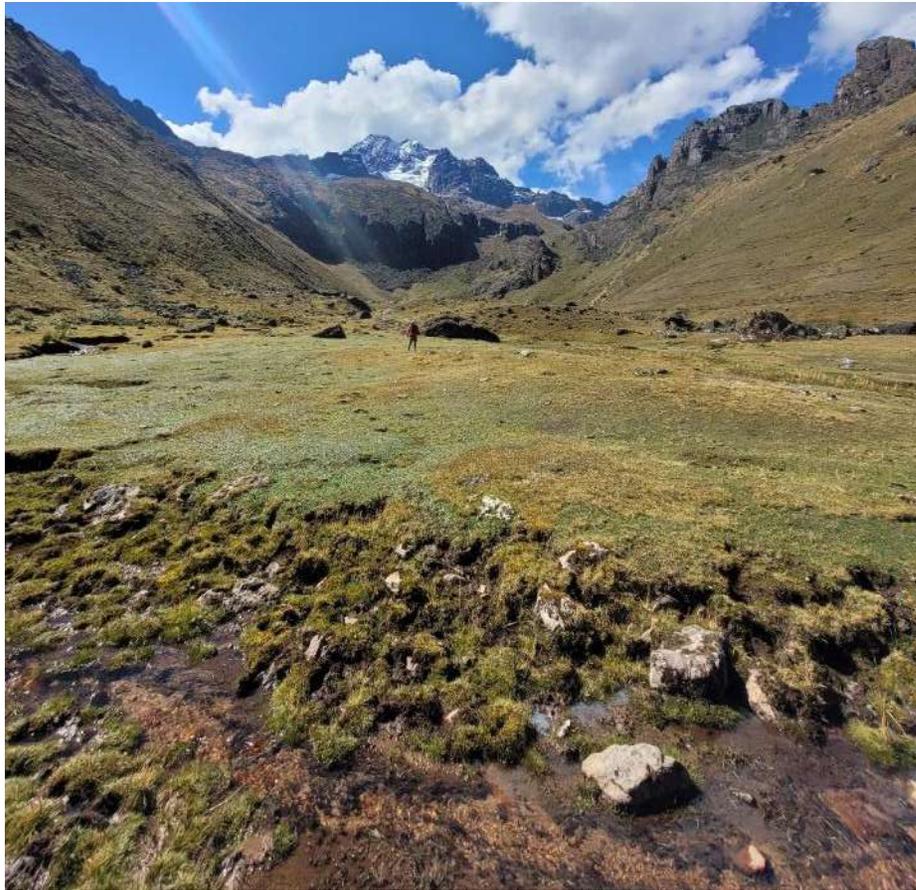


DEPOSITOS GLACIARES

Según Kalafatovich (1956) la glaciación pleistocénica del norte de Urubamba, basado en el estudio de las quebradas Yucay, Chicón, Pumahuanca y Yanahuara, son definidas desde el punto de vista fisiográfico como “quebradas de glaciación” por qué han sido modelados por la acción erosiva de los antiguos glaciares pleistocenos, habiendo quedado las impresiones en las rocas in situ y en el modelado topográfico de dichas quebradas. Los depósitos glaciares en la zona de estudio se ubican al pie del nevado San Juan en forma de morrenas que se caracterizan por presentan material no estratificado que abarca rocas volcánicas angulosas de diversos tamaños mezclado con arenas limo-arcillosas.

Fotografía 24:

Material glaciar





Nota: En la foto se observa material glaciar (morrenas).

Fuente: Propia

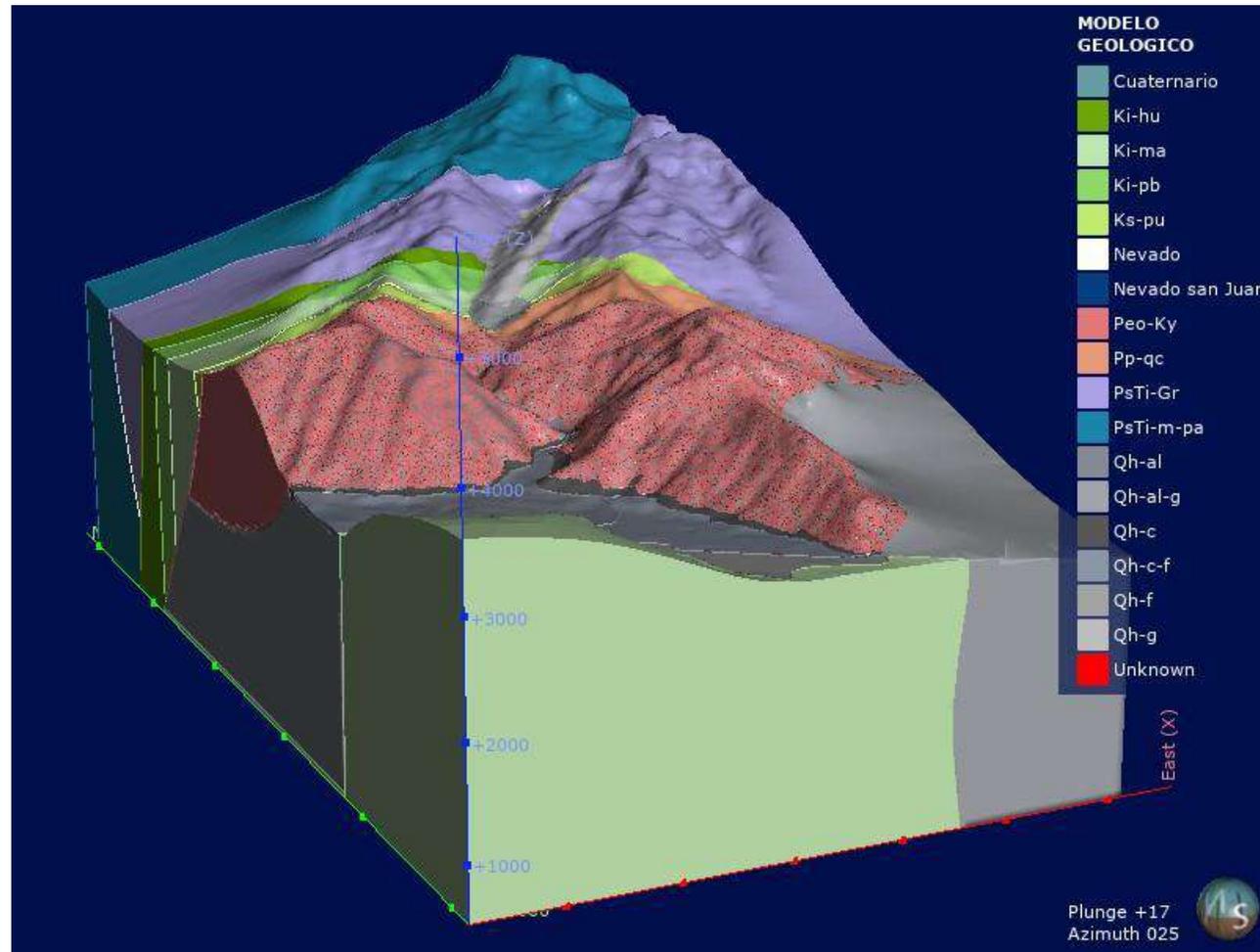
ROCA ÍGNEA INTRUSIVA

Según (Carlotto et al. 1996), al norte de Urubamba se encuentra el macizo de Urubamba, tiene una forma algo globular que intruye al grupo Mitu formando una aureola débil de metamorfismo de contacto. En la zona de estudio este macizo rocoso se encuentra al Norte de Yucay, está compuesto por roca granítica que intruye a la formación Pachatusan, encima de este macizo se encuentra una parte del nevado San Juan, por este mismo echo la zona es inaccesible para ingresar al mismo macizo ígneo, para su descripción se tomó como referencia el cuadrángulo de Urubamba y el mapa geológico regional de la zona.



FIGURA N°: 8

Modelo geológico local en 3D de la cuenca San Juan.



Nota: Modelamiento geológico en 3D realizado en Leapfrog.

Fuente: Propia.



CAPÍTULO V: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

5.1. GENERALIDADES DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Se sabe que la geología estructural es la rama de la geología que se dedica a estudiar la corteza terrestre, sus estructuras y la relación de las rocas que las forman. Este estudia la geometría de las rocas y la posición en que aparecen en superficie. Interpreta y entiende la arquitectura de la corteza terrestre y su relación espacial, determinando las deformaciones que presenta y la geometría subsuperficial de las estructuras rocosas. En el área de estudio se ha podido determinar que las principales actividades como son: de plegamiento y fallamiento regional, los cuales son determinantes en la litología y los flujos de agua subterráneas por medio de las fracturas y esquistosidades por la tectónica generada y controlada por el dominio intermedio que generalmente sufrió todo el Vilcanota.

5.2. ESTRUCTURAS REGIONALES

DOMINIO INTERMEDIO

Este dominio puede subdividirse en dos: uno NE y otro SO que corresponde aproximadamente a los flancos del Anticlinal de Vilcanota. Este Anticlinal de dirección NO-SE, tiene como núcleo aflorante al Grupo Copacabana. El Dominio Intermedio, se trunca al NO con un accidente paleogeográfico NE-SO (accidente de Patacancha), que parece haber controlado y limitado el desarrollo del Grupo Mitu, e igualmente su segmento Sur parece haber controlado la sedimentación del Grupo San Jerónimo.

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

La parte NE corresponde a varios sistemas de cabalgamientos NO-SE con convergencia al SO que hace repetir al Grupo Mitu sobre la Formación Paucarbamba y la Formación Paucartambo sobre el Grupo Mitu, todo esto en el flanco NE del Anticlinal de Vilcanota. Se pueden distinguir dos sistemas de cabalgamientos NO-SE con convergencia ubicado entre



Cancha Cancha al SO, relativamente importantes, uno Machacancha, norte de Pisac y que se prolonga hasta el norte de San Salvador, que hace repetir al Grupo Mitu a través de la Formación Huancané y la Formación Paucarbamba. El otro, que viene desde el borde SE del Cuadrángulo de Calca y se extiende hacia la zona de Lares, está compuesto por varias escamas de Mitu y de la Formación Paucartambo, pero que su importancia está dada por que pone en contacto al Paleozoico inferior sobre el Permo-Triásico, Estos sistemas están genéticamente ligados.

La parte SO se caracteriza por la existencia pequeños cabalgamientos NO-SE con vergencia NE que hacen repetir al Grupo Mitu sobre la Formación Huancané por intermedio de la Formación Paucarbamba y sobre todo por la presencia de fallas de rumbo con dirección andina (NO-SE), que, en la zona de estudio, se extiende desde las lagunas de Totoracocha, pasando por Uchuyccosco hasta el norte de Urubamba y Yanahuara, hasta truncarse con el accidente de Patacancha. Esta falla pone en contacto a manera de escamas rocas del Paleozoico inferior con rocas del Paleozoico superior y del Meso-Cenozoico particularmente del Grupo San Jerónimo. Se trata de un sistema posiblemente dextral que saca al afloramiento rocas antiguas del Paleozoico inferior a manera de estructuras en "flor" tal como se observa en Uchuyccosco, en la quebrada de Sutuc y la laguna de Totoracocha. A lo largo de este sistema de fallas de rumbo, se emplazan varios cuerpos shoshoníticos cuaternarios.

Paleogeográficamente este dominio intermedio correspondería a un alto estructural (Umbral Cusco-Puno) (Carlotto, 1992). Las estructuras descritas anteriormente en el dominio Altiplánico e Intermedio corresponde a la tectónica andina, ya que afectan a rocas meso-cenozoicas. Además, todas estas se hallan afectadas por un plegamiento aproximadamente N 30°, que afecta a los tres dominios estructurales.

El Sinclinal Antalquilca se halla afectado por pliegues N 30°, que también afectan a las fallas de rumbo del Dominio Intermedio SO. En el Dominio Intermedio NE sobresale el Anticlinal de Calca, que es una estructura que afecta a los volcánicos del Grupo Mitu y a las fallas inversas que hacen repetir a esta unidad. Un sistema de fallas de rumbo de pequeño desplazamiento afecta a las



estructuras anteriores resaltando en la zona de estudio una que se halla cerca a la comunidad de Totora y que desplaza el cabalgamiento del mismo nombre. Esta falla tiene un comportamiento dextral y desplaza aproximadamente de 1 a 2 km. Otra falla NE-SO lo constituye la que se halla cerca de Uchuycosco y que desplaza a la Formación Huancané y también a la falla de rumbo del Dominio Intermedio. Esta falla también es dextral y tiene un desplazamiento de aproximadamente 1 km.

5.3. ESTRUCTURAS LOCALES

Las principales estructuras locales que se encuentran en la zona de estudio son: las estructuras de pliegues como son el plegamiento de las capas rojas, plegamientos sobre la formación Quilque- Chilca, el sistema de fallas en estructura de "flor" con dirección NO-SE cerca al poblado de San Juan y estructura de falla tipo gravens dentro del grupo San Jerónimo.

ESTRUCTURAS DE PLIEGUE

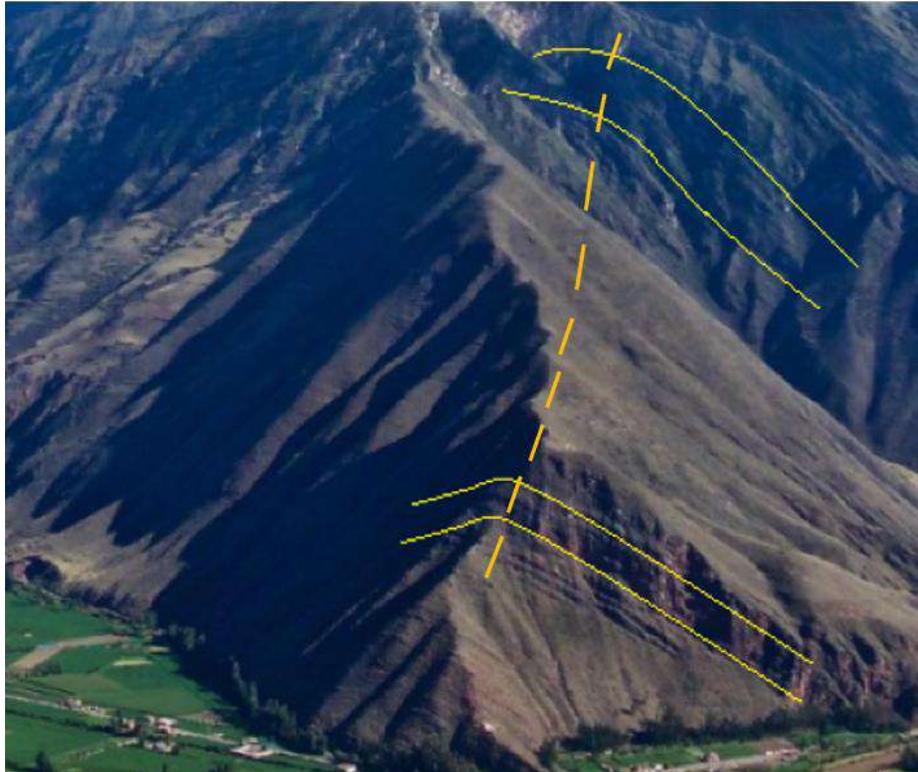
La tectónica regional del anticlinal del Vilcanota principalmente por medio del fallamiento regional del accidente de Patacancha, ha influenciado en el plegamiento del Grupo San Jerónimo en el sector del distrito de Yucay, donde se distingue el anticlinal que se encuentra en la parte Este del poblado de Yucay, el cual se extiende de manera algo irregular hacia la parte Norte, también tenemos que mencionar que el anticlinal que se encuentra en la formación Quilque-Chilca y sinclinal que se extiende en la misma formación tienen la dirección de NO-SE.

ANTICLINAL AL ESTE DE YUCAY

Este anticlinal se puede observar en la parte este del poblado de Yucay extendiéndose desde el cerro Condortiana hasta el cerro Pumahuachana el cual presenta una dirección NE a SO y un buzamiento hacia el Norte, este anticlinal fue generado por compresión de las capas rojas del grupo San Jerónimo por las fallas regionales que separan a este grupo de la formación Quilque en el Distrito de Yucay.

Fotografía 25:

Anticlinal al Este de Yucay



Nota: Foto del Anticlinal en la zona Este del distrito de Yucay, las líneas amarillas muestran la estratificación típica de Anticlinal, y la línea anaranjada muestra el contacto el eje del anticlinal.

Fuente: Propia

SINCLINAL DE FM. QUILQUE

El sinclinal se puede observar al Este de la comunidad de San Juan y ha sido producto de las fallas regionales, con una dirección de Noroeste a Sureste, el cual junto con estructuras de sinclinal y anticlinal controlan el flujo de aguas de la quebrada de San Juan, este sinclinal tiene una dirección noroeste a sureste con un buzamiento preferente hacia el SE.



Fotografía 26:

Sinclinal en la formación Quilque



Nota: Foto del sinclinal sumergido en la zona Este de la comunidad de San Juan, las líneas amarillas muestran la estratificación típica y las líneas anaranjadas muestra el eje del Sinclinal.

Fuente: Propia

ANTICLINAL FM. QUILQUE

El anticlinal se puede observar al Este de la comunidad de San Juan, en las capas rojas, fue generado por la compresión de las fallas, este anticlinal tiene una dirección O-E con un buzamiento preferente hacia el SE.

SISTEMA DE FALLAS AL NORTE Y SUR DEL POBLADO DE SAN JUAN

FALLAS DEL SECTOR NORTE

Estas fallas se observan desde el poblado de San Juan y se extienden hacia el cerro Huarán en donde estas dos fallas se llegan a interceptar, estas fallas que tienen una dirección



NO a SE son fallas inversas sinestrales que sacaron al grupo Mitu por encima del grupo San Jerónimo y controlaron la tectónica que plegó a estas capas rojas y a la fm. Quilque Chilca en el distrito de Yucay.

Fotografía 27:

Fallas al este de Yucay

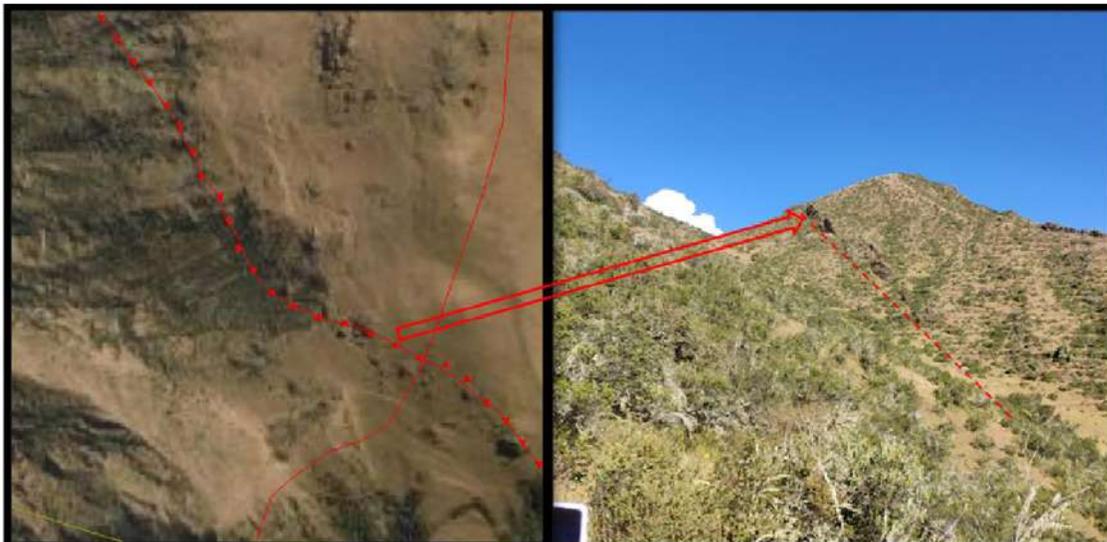


Nota: Foto de la Falla al este del poblado de San Juan.

Fuente: Propia

Fotografía 28:

Fallas al Noreste de Yucay





Nota: Foto donde se observan las fallas regionales al norte del poblado de San Juan, las líneas rojas muestran la dirección de las fallas.

Fuente: Propia

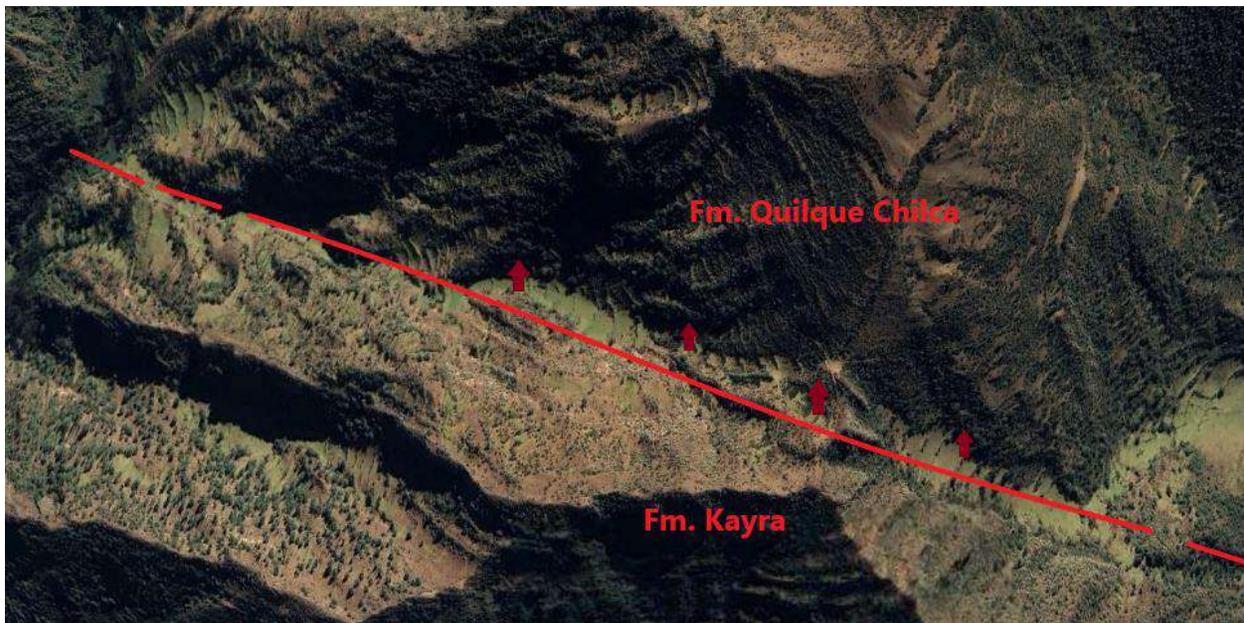
Estas fallas en la parte Norte del distrito son las que controlan el flujo de agua subterránea generando zonas de debilidad por donde los ojos de manantes afloran en varios puntos a lo largo de la falla.

FALLAS DEL SECTOR SUR

Esta falla se encuentra al pie de la población de San Juan, tiene una dirección de noroeste a sureste, en la cual se observa que el plano de falla presenta un buzamiento hacia el Noreste. Se observa depósitos coluviales desplazados con movimientos de tipo inversa sinextral, esta falla pertenece a las fallas regionales que generan grandes desplazamientos.

Fotografía 29:

Fallas al sur de Yucay



Nota: Presencia de falla regional con vista hacia el Norte.

Fuente: Propia

FALLA DEL SECTOR MOLINO

Esta falla se encuentra en uno de los miradores del poblado de Yucay, Tiene una dirección de Noroeste a Sureste, en la cual se observa que plano de falla presenta un buzamiento de 47° hacia Suroeste, en donde esta falla también trabaja como contacto entre areniscas de grano fino con lutitas, se observa espejos de falla con movimientos de tipo inversa sinextral.

Fotografía 30:

Fallas Locales



Nota: Se observa fallas locales con presencia de espejos de fallas.

Fuente: Propia.

FALLA DEL SECTOR NORESTE DEL POBLADO DE YUCAY

Esta falla se ubica al Noreste del poblado de Yucay con dirección Noreste - Suroeste, se observan claros movimientos de tipo inversa sinextral que en la zona de estudios afectan a la

formación Kayra, en donde esta falla también trabaja como contacto entre areniscas de grano fino con areniscas de grano medio.

Fotografía 31:

Fallas locales al este de Yucay



Nota: Foto de la falla en la zona Este del poblado de Yucay, con vista hacia el Noreste.

Fuente: Propia



CAPÍTULO VI: HIDROLOGÍA

6.1. GENERALIDADES

Se codificó la cuenca San Juan según el criterio de Otto Pfafstetter, por ser un método global de clasificación de cuencas, su fácil empleo y entendimiento.

De acuerdo a la codificación de Pfafstetter en el Perú encontramos tres cuencas hidrográficas, la cuenca del Amazonas, inter-cuenca del Pacífico y la cuenca interna del Titicaca.

Para la cuenca San Juan se realizó la clasificación de la siguiente manera:

Tabla 5:

Codificación Pfafstetter de la cuenca San Juan

CÓDIGO	CLASIFICACIÓN	NIVEL
4	Cuenca hidrográfica del río Amazonas	1
9	Cuenca cabecera del río Amazonas	2
9	Cuenca del río Ucayali	3
4	Cuenca bajo Urubamba	4
9	Inter cuenca del río Alto Urubamba-Vilcanota	5
7	Inter cuenca Medio Vilcanota	6
1	Inter cuenca Medio Bajo Vilcanota	7
4	Cuenca San Juan	8

Fuente: Elaboración propia

Hidrográficamente la cuenca San Juan posee el código 49949714 y se encuentra en el octavo nivel (8 dígitos).

6.2. HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN

La cuenca del río San Juan se encuentra dentro de la cuenca del río Vilcanota y/o Urubamba sus puntos extremos se hallan entre 13° 17' y 13° 18' Latitud Sur 72° 5' y 72° 3.7' Longitud Oeste. El cauce principal de la cuenca tiene una longitud de 8.67 kilómetros.

6.2.1. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

A. CAUDAL DEL RÍO SAN JUAN

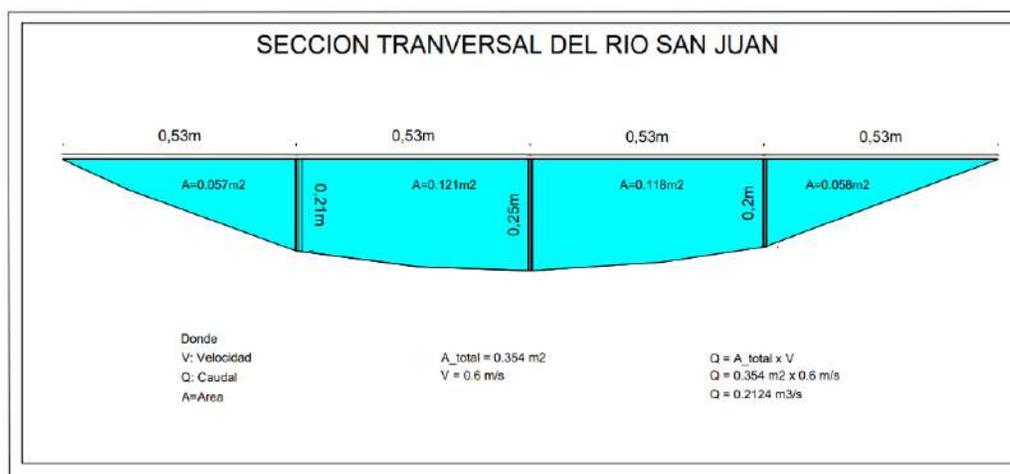
Para hallar el caudal del río San Juan fue obtenido a través de uno de los métodos de área y velocidad, método de aforo para ríos el cual consiste en determinar el área de una sección transversal de la corriente y la velocidad del agua a través de ésta.

Debido a que el cauce no está bien definido se procedió a determinar a través del sondeo, para ello se contó con que la parte superior de la sección limitada por el agua es horizontal. Teniendo como premisa lo anterior se procedió a la separación de los sondeos, la cual dependerá del ancho de la corriente.

Punto 1 en la cabecera del río San Juan: nuestro ancho de corriente corresponde a 2.10 m para lo cual se tomó un espaciamiento 0.53 resultando 4 secciones, obteniéndose el área de cada sección por ende el área total. La determinación de la velocidad del agua se realizó empleando un objeto flotador ayudado de un cronómetro, tomando como punto de partida a 3 m de la sección transversal de la corriente.

FIGURA N: 9

Sección transversal de la cabecera de la cuenca del río San Juan



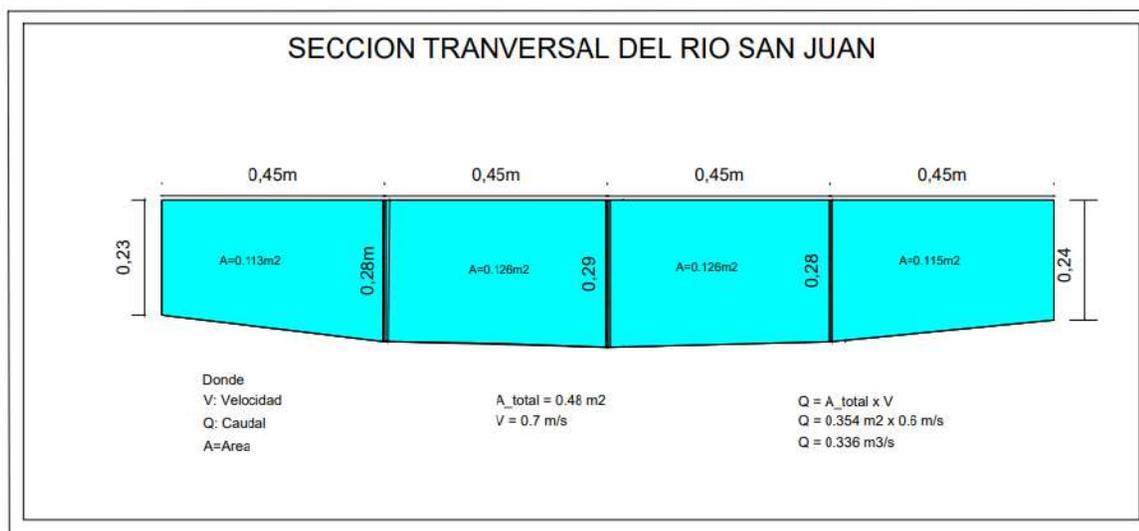
Fuente: *Elaboración propia*

Punto 2 poblado de Yucay: nuestro ancho de corriente corresponde a 1.80 m para lo cual se tomó un espaciamiento 0.45 resultando 4 secciones, obteniéndose el área de cada

sección por ende el área total. La determinación de la velocidad del agua se realizó empleando un objeto flotador ayudado de un cronómetro, tomando como punto de partida a 4 m de la sección transversal de la corriente.

FIGURA N°: 10

Sección transversal de la parte media del río San Juan



Fuente: Elaboración propia

6.2.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA SAN JUAN

El análisis de los parámetros geomorfológicos para la cuenca del río San Juan, se observan a continuación:

Tabla 6:

Parámetros geomorfológicos de la Cuenca San Juan

PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA SAN JUAN			
PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
Área de la cuenca	A	Km ²	23.86
Perímetro de la cuenca	P	Km	26.11
Longitud de la cuenca	L	Km	10.29
Ancho promedio	Ap	Km	2.75
Coefficiente de compacidad	Kc	-	1.51
Factor de forma	Ef	-	0.32
Rectángulo equivalente	RE	Km	11



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 7:

Parámetros fisiográficos del río San Juan

PARAMETROS FISIAGRÁFICOS DE RÍO SAN JUAN			
PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
Longitud del cauce principal	L	Km	8.67
Altitud máxima	Cmax	msnm	4150
Altitud mínima	Cmin	msnm	2850
Altitud media	Cme	msnm	3350

Fuente: *Elaboración propia*

A. ÁREA DE LA CUENCA (A)

$$A \text{ cuenca} = 23.8635 \text{ Km}^2$$

B. PERÍMETRO DE LA CUENCA (P)

$$P \text{ cuenca} = 26.11 \text{ Km}$$

C. LONGITUD DE LA CUENCA (L)

$$L \text{ cuenca} = 10.29 \text{ Km}$$

D. ANCHO PROMEDIO DE LA CUENCA (Ap)

Parámetro que relaciona el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, cuya fórmula es la siguiente:

$$AP = \frac{A}{L}$$

Donde:

Ap = Ancho promedio de la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)



L = Longitud del cauce principal (Km)

$$AP = \frac{23.8635 \text{ Km}^2}{10.29 \text{ Km}}$$

El ancho promedio de la cuenca del río San Juan es 2.319 Km lo que indica que la cuenca es de forma rectangular oblonga.

E. COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)

Llamada también índice de Gravelius que establece la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la cuenca correspondiente. El índice de Gravelius representa la forma de la superficie de la cuenca, según su delimitación, y está relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

El valor de Kc se expresa con la siguiente ecuación:

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

Donde:

K = Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad.

P = Perímetro de la cuenca (26.11km).

A = Área de la cuenca (23.86 km²).

El coeficiente de compacidad para la cuenca del río San Juan es de 1.50, esto significa que la cuenca es regularmente oval redonda a oval oblonga con tendencia a Oval oblonga a rectangular oblonga.



Tabla 8:

Valores del coeficiente de compacidad o gravelious

RANGO	FORMA
1.00 - 1.25	Redonda a oval redonda (compacta)
1.25 - 1.50	Oval redonda a oval oblonga
1.50 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1.75	Casi rectangular (alargada)

Fuente: Basado en gravelious, 1914; horton, 1932; jardí, 1985.

F. FACTOR FORMA (Ff)

Es uno de los parámetros que explica la elongación de una cuenca. Se expresa como la relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal.

El parámetro está definido por la siguiente expresión:

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

Donde:

Ff = Factor de Forma

A = Área de la cuenca (km²).

L= Longitud del cauce principal (km)

El factor de forma de la cuenca del río San Juan es 0.31 que indica que la cuenca es ligeramente alargada, pero está sujeta a crecidas de los ríos como es costumbre por ser ligeramente alargada.

Tabla 9:

Rangos aproximados del Factor de Forma

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada



0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Pérez, 1979

G. ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA (Hm)

Del plano se ha obtenido los siguientes valores, expuestos en la tabla 10:

Tabla 10:

Altitud media de la cuenca San Juan

Cota Menor	Cota Mayor	Cota Media (Hi)	Áreas Parciales (si)		cota media *área (km2)
			(Km2)	(%)	
msnm	msnm	msnm			
2842	2921	2861.784	4.963	20.801	14204.340
2922	3048	2981.813	1.151	4.822	3430.713
3049	3176	3115.412	1.131	4.738	3522.061
3177	3298	3237.904	1.150	4.818	3722.271
3299	3421	3359.474	1.249	5.233	4195.071
3422	3541	3483.771	1.305	5.469	4546.212
3542	3653	3599.287	1.350	5.657	4858.212
3654	3761	3708.146	1.588	6.655	5888.824
3762	3868	3815.366	1.573	6.591	6000.906
3869	3976	3921.961	1.363	5.712	5346.086
3977	4081	4030.599	0.971	4.071	3915.078
4082	4187	4131.924	1.028	4.306	4245.881
4188	4296	4243.063	0.863	3.615	3660.368
4297	4404	4350.037	0.966	4.047	4200.481
4405	4515	4458.486	0.882	3.695	3931.207
4516	4626	4572.218	0.819	3.431	3743.835
4627	4742	4680.414	0.633	2.652	2962.437
4743	4886	4804.593	0.529	2.217	2541.829
4888	5055	4969.324	0.200	0.839	994.748
5059	5290	5145.842	0.151	0.631	775.015
km2			23.862	100	86685.574
Elevación media			3632.764471		

Fuente: Propia

De lo siguiente obtendremos la altitud media de la cuenca del río San Juan:



$$Hm = \frac{\sum(hi * Si)}{Area}$$

$$Hm = 86685.574/23.862$$

Entonces: $Hm = 3632.764471$ msnm.

Por consiguiente, la altitud media de la cuenca del río San Juan es 3632 msnm.

H. CURVA HIPSOMÉTRICA

La curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada. Las curvas hipsométricas también son asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas.

Del plano Hidrográfico, se determinó los siguientes valores mostrados en la tabla 11.

Tabla 11:

Porcentaje del área de la cuenca que queda por encima y por debajo de la altitud

Cota Menor	Cota Mayor	Cota Media	Áreas Parciales		Áreas acumuladas debajo		Áreas acumuladas encima	
			(Km2)	(%)	(Km2)	(%)	(Km2)	(%)
2842	2921	2861.784	4.963	20.801	4.963	20.801	23.862	100.000
2922	3048	2981.813	1.151	4.822	6.114	25.622	18.899	79.199
3049	3176	3115.412	1.131	4.738	7.245	30.360	17.748	74.378
3177	3298	3237.904	1.150	4.818	8.394	35.178	16.618	69.640
3299	3421	3359.474	1.249	5.233	9.643	40.411	15.468	64.822
3422	3541	3483.771	1.305	5.469	10.948	45.879	14.219	59.589
3542	3653	3599.287	1.350	5.657	12.298	51.536	12.914	54.121
3654	3761	3708.146	1.588	6.655	13.886	58.191	11.565	48.464
3762	3868	3815.366	1.573	6.591	15.458	64.782	9.976	41.809
3869	3976	3921.961	1.363	5.712	16.822	70.495	8.404	35.218
3977	4081	4030.599	0.971	4.071	17.793	74.566	7.041	29.505
4082	4187	4131.924	1.028	4.306	18.821	78.872	6.069	25.434
4188	4296	4243.063	0.863	3.615	19.683	82.487	5.042	21.128
4297	4404	4350.037	0.966	4.047	20.649	86.534	4.179	17.513



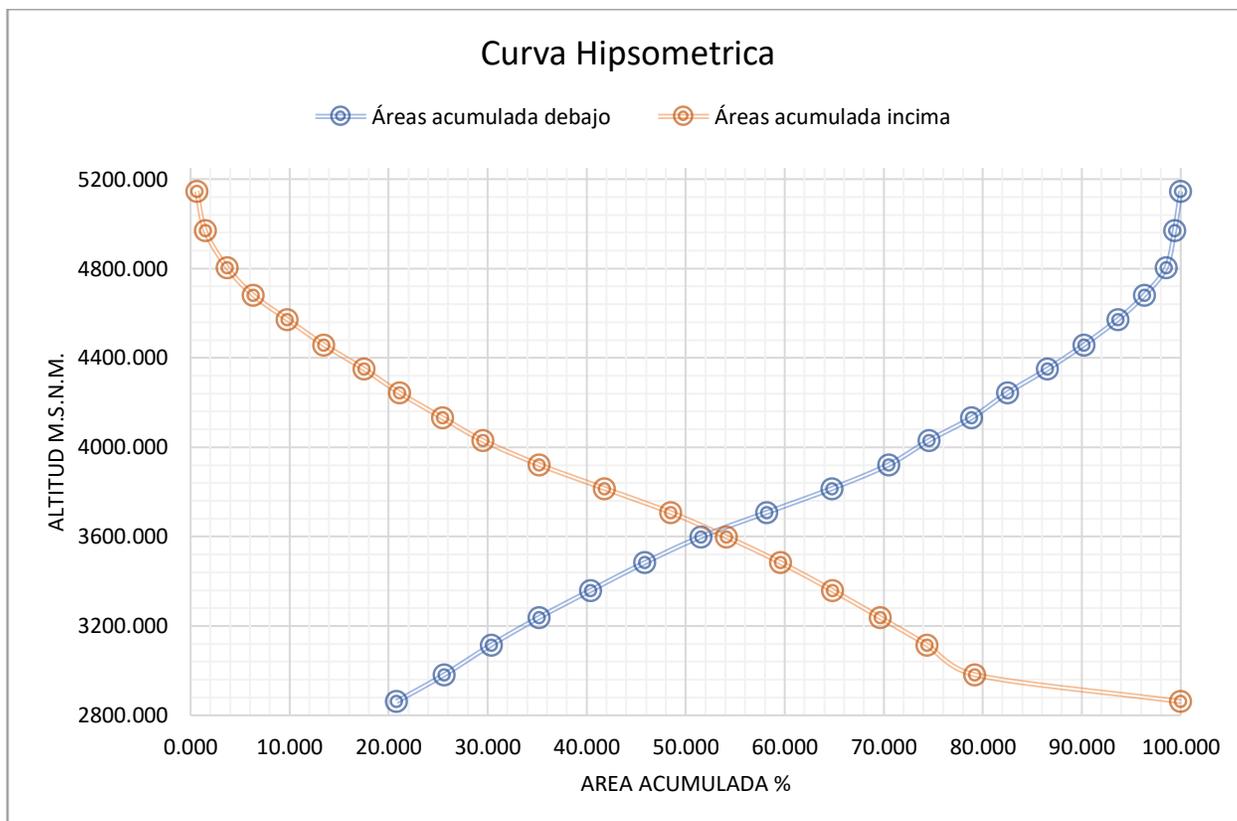
4405	4515	4458.486	0.882	3.695	21.531	90.229	3.213	13.466
4516	4626	4572.218	0.819	3.431	22.349	93.660	2.332	9.771
4627	4742	4680.414	0.633	2.652	22.982	96.313	1.513	6.340
4743	4886	4804.593	0.529	2.217	23.511	98.530	0.880	3.687
4888	5055	4969.324	0.200	0.839	23.712	99.369	0.351	1.470
5059	5290	5145.842	0.151	0.631	23.862	100.000	0.151	0.631
km2			23.862	100				

Fuente: Elaboración Propia

Una forma de expresar la curva hipsométrica es considerando el porcentaje del área de la cuenca que queda por encima y por debajo de la altitud, con los datos de la figura 11 se obtiene que los ríos de la cuenca del río San Juan están en fase de vejez por lo tanto el potencial erosivo es muy bajo.

FIGURA N°: 11

Curva Hipsométrica



Fuente: Elaboración Propia



6.2.3. PARÁMETROS HIDROMETEOROLÓGICOS

Para obtener estos parámetros se debe tener en cuenta el período húmedo, en nuestra zona de estudio corresponde a los meses de octubre a marzo y el período seco va de junio a septiembre, durante el período seco se registran mínimas lluvias. De manera extraordinaria en algunos meses se presentan tormentas en la zona de estudio donde los valores de precipitación alcanzan un máximo, estas tormentas ocurren mayormente en los meses de diciembre y enero.

HUMEDAD RELATIVA

En términos generales se observa que, en los meses de Julio a agosto, se registra una disminución de la humedad relativa media período que viene acompañado de temperaturas medias.

Los valores mensuales observados en la estación climatológica ordinaria de Urubamba son detallados en la tabla 12, donde se aprecia que el módulo medio anual es de 79% para el período comprendido del 2017 al 2022.

Los valores mínimos registrados varían del 69% a 72% en los meses de julio, agosto y junio respectivamente. Así mismo, los valores máximos observados corresponden a 86% en los meses de enero, febrero, marzo y 84% en el mes de diciembre.

Tabla 12:

Humedad relativa mensual de la estación de Urubamba

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Humedad (%)	86%	86%	86%	83%	77%	72%	69%	69%	74%	80%	80%	84%

Fuente: SENAMHI

REGIONALIZACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN

Para determinar la precipitación media en la cuenca de San Juan se realizó el cálculo mediante los métodos de polígonos Thiessen, Inverso a la distancia y Kriging empleando para ello el software ArcGis.

REGIONALIZACIÓN PRECIPITACIÓN

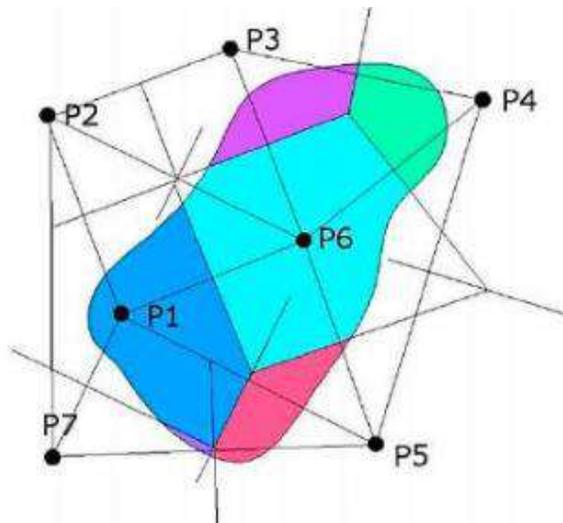
POLÍGONOS THIESSSEN

Este método consiste en determinar para cada área dentro de su zona de influencia un factor de influencia, conocido como coeficiente de Thiessen. Este enfoque nos hace pensar que, en cualquier punto dado de la cuenca, es lo más cercano al impacto general hasta ese punto. Esto traza polígonos de influencia, llamados polígonos de Thiessen, alrededor de cada ubicación. El coeficiente de Thiessen para una estación es el área de su polígono de influencia dividida por el área de captación total.

Por definición, la suma de los coeficientes de Thiessen es igual a 1. (MONGUA, 2016)

FIGURA N°: 12

Gráfico de cálculo de Polígonos de Thiessen



Fuente: Quispe, G. C. (2019).

De donde se extrae la siguiente fórmula:

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

Donde:

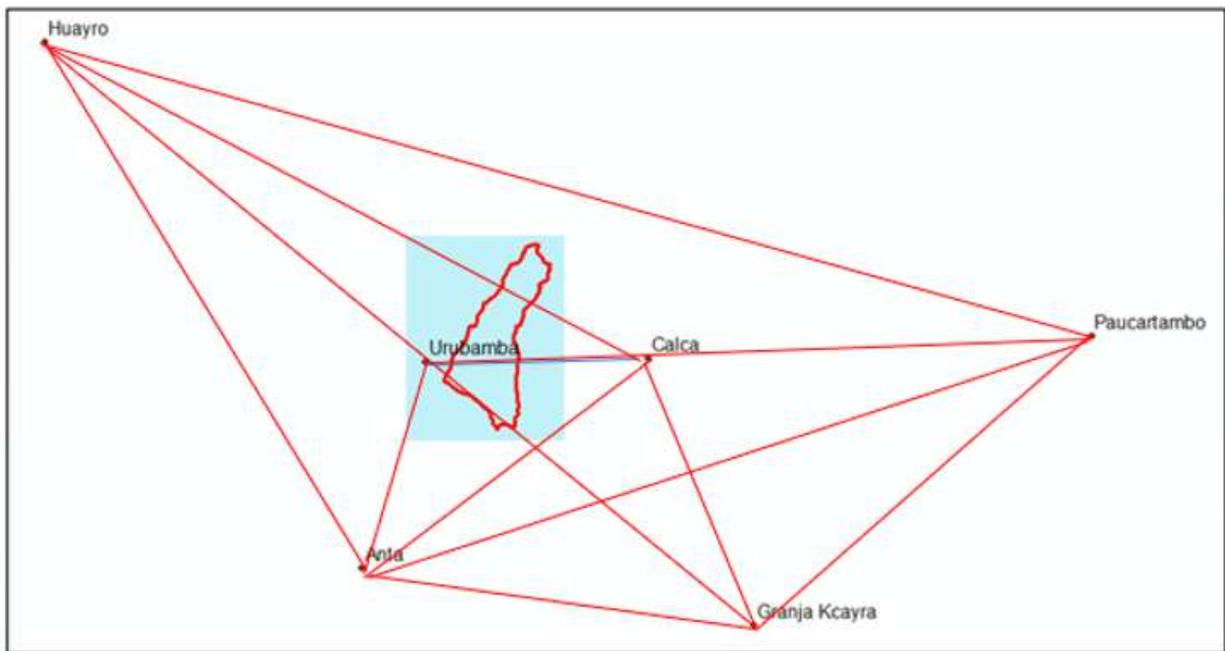
\bar{P} : Precipitación media de la cuenca

A_i : Área de influencia del pluviómetro i

P_i : Pluviómetro i con P_i

FIGURA N°: 13

Cálculo de precipitación media mediante el software ArcGIS de la cuenca de estudio, por el método de Thiessen



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13:

Precipitación media calculada por el método Kriging en el área de estudio

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL- CUENCA SAN JUAN (mm)
<u>SENAMHI</u>



OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA														
ESTACIÓN		URUBAMBA						LATITUD		13°18'18.6" S		DPTO:	CUSCO	
PARÁMETRO		PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)						LONGITUD		72° 7' 28.4" W		PROV:	URUBAMBA	
TIPO:		Convencional Meteorológica						ALTITUD		2,850	msnm	DIST:	YUCAY	
N°Datos	AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1990	138.5	95.8	34.0	33.0	5.0	41.0	0.0	9.5	6.0	39.6	55.0	68.3	525.70
2	1991	55.0	112.5	96.0	39.5	2.0	10.0	0.0	4.7	11.5	32.0	60.0	79.0	502.20
3	1992	95.5	77.3	23.5	26.5	0.0	15.0	25.5	32.0	1.5	22.5	60.0	27.0	406.30
4	1993	120.0	90.0	57.5	36.5	4.5	0.0	2.5	28.0	4.0	30.0	79.0	120.0	572.00
5	1994	116.5	97.1	109.5	34.5	2.5	0.0	1.3	4.7	23.5	51.5	29.5	149.0	619.60
6	1995	74.7	41.9	81.5	10.9	2.2	1.0	0.3	0.0	14.5	35.1	55.0	95.5	412.60
7	1996	87.9	77.6	51.0	48.6	18.2	0.4	0.1	11.6	5.0	26.2	55.8	73.8	456.20
8	1997	88.6	117.9	105.3	8.5	2.3	0.0	0.0	8.3	6.2	10.1	73.0	84.9	505.10
9	1998	54.7	72.2	27.7	10.4	4.0	0.7	0.0	0.4	1.7	19.3	44.1	55.5	290.70
10	1999	124.2	106.0	82.4	29.6	17.5	0.8	0.1	0.0	23.7	20.3	51.9	125.8	582.30
11	2000	168.2	96.7	87.3	6.5	6.4	8.8	0.8	0.1	15.6	63.9	18.7	77.0	550.00
12	2001	159.4	94.7	102.2	7.2	8.4	0.0	16.9	11.6	8.6	73.3	61.8	65.5	609.60
13	2002	126.0	118.1	78.3	50.1	5.8	4.9	62.8	1.8	2.5	63.6	53.0	135.5	702.40
14	2003	96.9	73.4	109.5	28.6	4.3	8.4	1.2	18.0	1.0	16.8	47.2	94.6	499.90
15	2004	123.5	87.6	75.3	15.2	1.5	30.6	21.5	10.3	5.9	35.8	38.9	77.9	524.00
16	2005	48.4	97.0	62.2	21.3	5.0	0.0	1.6	1.9	11.7	10.9	50.5	82.6	393.11
17	2006	111.8	92.8	68.9	33.5	0.0	1.9	0.0	4.0	9.6	50.1	58.3	88.2	519.10
18	2007	51.4	84.5	78.2	46.8	4.6	0.0	1.9	0.1	0.0	54.0	63.7	74.8	460.00



19	2008	93.3	79.3	79.2	6.7	7.1	2.8	0.6	3.1	3.9	35.5	92.2	118.4	522.10
20	2009	167.0	110.7	67.1	10.9	6.3	0.1	2.7	1.6	8.9	4.6	128.4	70.6	578.90
21	2010	194.0	127.4	104.1	12.7	2.7	0.0	2.5	7.7	5.5	42.0	28.5	110.7	637.80
22	2011	103.9	141.1	88.5	46.8	12.6	4.0	29.6	4.8	28.1	31.6	39.3	112.5	642.80
23	2012	69.0	124.4	57.4	18.0	0.3	0.6	1.8	0.3	17.2	8.1	61.3	134.8	493.24
24	2013	126.4	131.1	90.5	3.5	1.4	0.4	0.0	13.4	2.2	72.8	113.4	136.0	691.10
25	2014	122.3	71.6	50.6	34.3	10.1	0.0	0.1	0.5	6.4	57.2	30.6	99.7	483.40
26	2015	129.9	87.5	48.7	28.4	4.6	0.0	7.8	5.5	3.4	15.2	28.9	117.5	477.40
27	2016	62.3	125.9	57.3	22.9	1.8	0.3	5.2	0.0	1.2	54.9	39.7	132.7	504.20
28	2017	77.9	76.7	60.3	66.3	1.7	0.5	0.0	10.8	1.1	40.3	69.3	55.1	460.00
29	2018	88.2	142.1	85.3	9.1	0.0	26.8	16.7	19.0	3.1	65.7	50.1	64.6	570.70
30	2019	88.9	98.4	104.1	16.9	9.3	1.8	3.0	0.0	2.8	54.6	90.0	152.8	622.60
PROM.		105.48	98.31	74.11	25.46	5.07	5.36	6.88	7.12	7.88	37.92	57.57	96.01	527.17
N° Datos		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	360.00
Suma		3164.3	2949.3	2223.4	763.7	152.1	160.8	206.5	213.7	236.3	1137.5	1727.1	2880.3	15815.05
Desv. Estándar		37.2	23.3	24.1	16.1	4.7	10.2	13.4	8.3	7.4	20.2	24.5	31.4	220.72
Varianza		1693.5	836.6	737.4	271.3	22.0	101.1	175.1	68.1	55.1	439.2	689.0	1252.9	6341.14
Media		100.4	96.3	78.3	24.7	4.4	0.7	1.5	4.7	5.7	35.7	55.0	91.4	498.55
Prec. Min		48.4	41.9	23.5	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	18.7	27.0	167.60
Prec. Max.		194.0	142.1	109.5	66.3	18.2	41.0	62.8	32.0	28.1	73.3	128.4	152.8	1048.50
Coef. Variacion		37.16	23.30	24.07	16.09	4.68	10.18	13.40	8.29	7.41	20.16	24.54	31.44	220.72

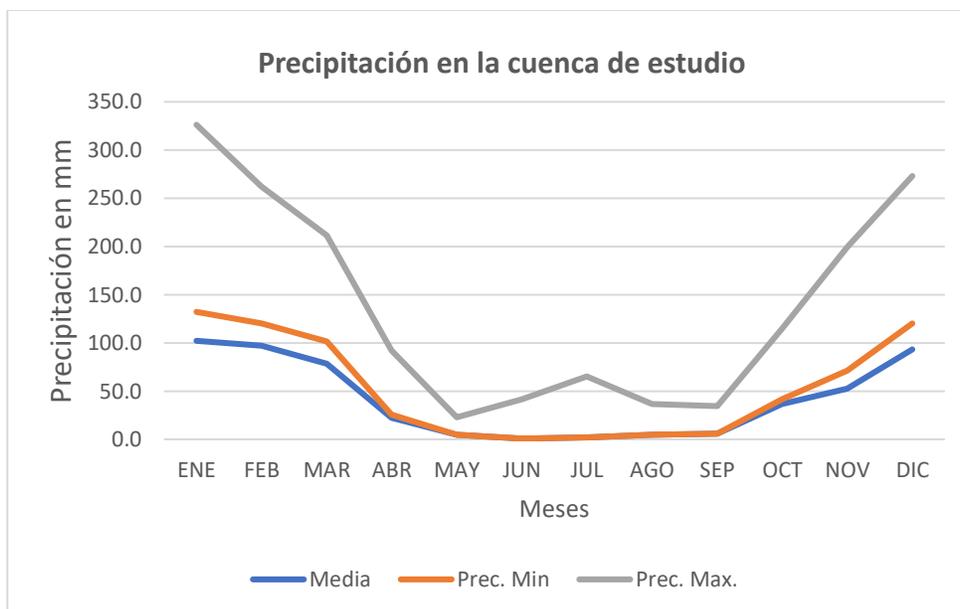
Fuente: Elaboración propia.

La precipitación de la cuenca es de 527.17 mm por año. Un posterior análisis nos permite comprender la variación de precipitación a lo largo de los meses del año, que se podrá observar y comprender de una mejor manera con el siguiente gráfico.



FIGURA N°: 14

Gráfico del análisis de precipitación



Fuente: *Elaboración propia.*

Para el cálculo de las isoyetas se generó un modelo de precipitación basado en la relación entre las estaciones hidrometeorológicas con los datos de altitud y precipitación media anual, reflejada en una línea de tendencia y el respectivo ajuste de acuerdo con la ecuación, con mejor correlación. Para los respectivos cálculos se tomó en cuenta los siguientes datos.

Tabla 14:

Descripción de puntos meteorológicos con datos de precipitación media anual

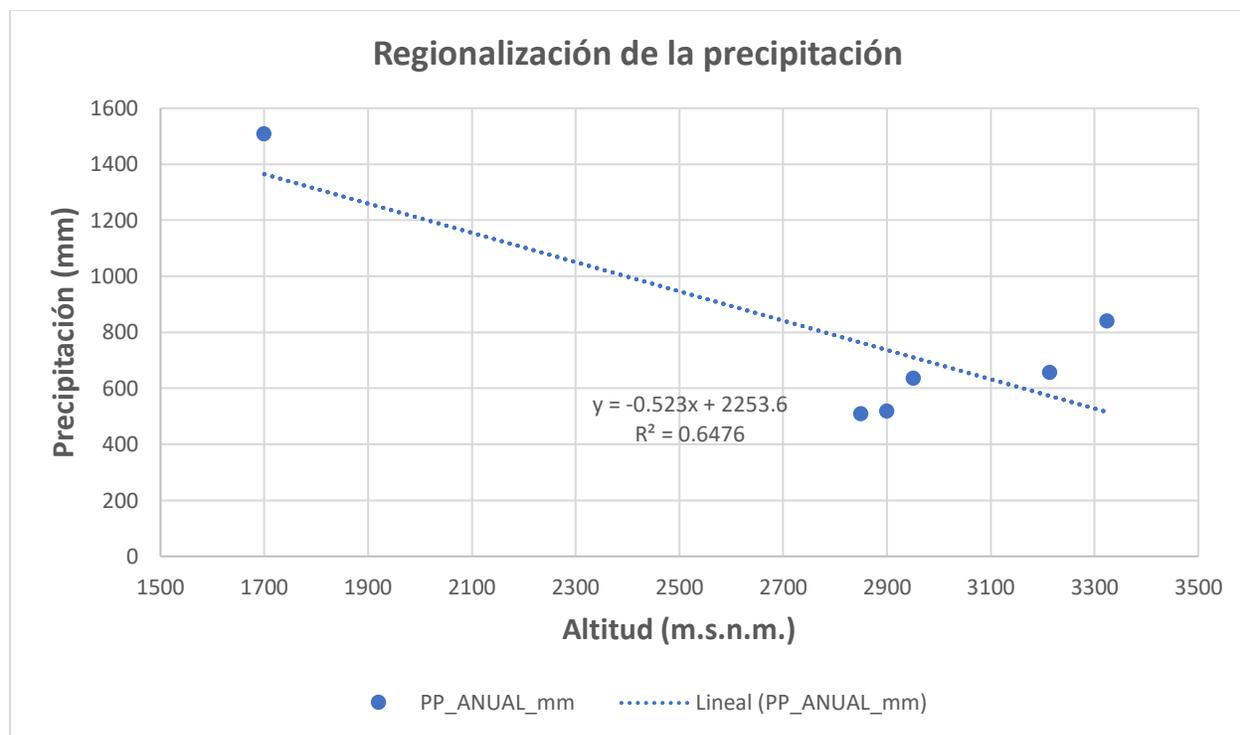
PUNTO	ESTACION	ZONA	ESTE_X	NORTE_Y	ALITUD_Z	PP_ANUAL_mm
EST-01	ANTA	18S	811549.5	8527316.4	3324	838.97
EST-02	HUAYRO	18S	8552942.321	8552942.321	1700	1508
EST-03	KAYRA	19S	188805.3	8499463	3214	655.43
EST-04	PAUCARTAMBO	19S	8526390.922	8526390.922	2900	517
EST-05	URUBAMBA	18S	811549.5	8527316.4	2850	508.18
EST-06	CALCA	18S	8521419.113	8521419.113	2951	635.4

Fuente: *Elaboración propia.*



FIGURA N°: 15

Gráfico de ecuación de regionalización de precipitación



Fuente: *Elaboración propia.*

REGIONALIZACIÓN DE TEMPERATURA

Para las isotermas se generó un modelo de temperatura basado en la relación entre las estaciones hidrometeorológicas con los datos de altitud y temperatura media anual, reflejada en una línea de tendencia y el respectivo ajuste de acuerdo a la ecuación, con mejor correlación.

Cabe resaltar que se utilizaron 6 estaciones meteorológicas para obtener una mejor correlación y mayor al 50%.

Tabla 15:

Descripción de puntos meteorológicos con datos de temperatura media anual

PUNTO	ESTACION	ZONA	ESTE_X	NORTE_Y	ALITUD_Z	T(°C)
EST-01	ANTA	18S	811549.5	8527316.4	3324	11.69
EST-02	HUAYRO	18S	8552942.321	8552942.321	1700	18.4
EST-03	KAYRA	19S	188805.3	8499463	3214	13.48
EST-04	PAUCARTAMBO	19S	8526390.922	8526390.922	2900	13
EST-05	URUBAMBA	18S	811549.5	8527316.4	2850	15.77

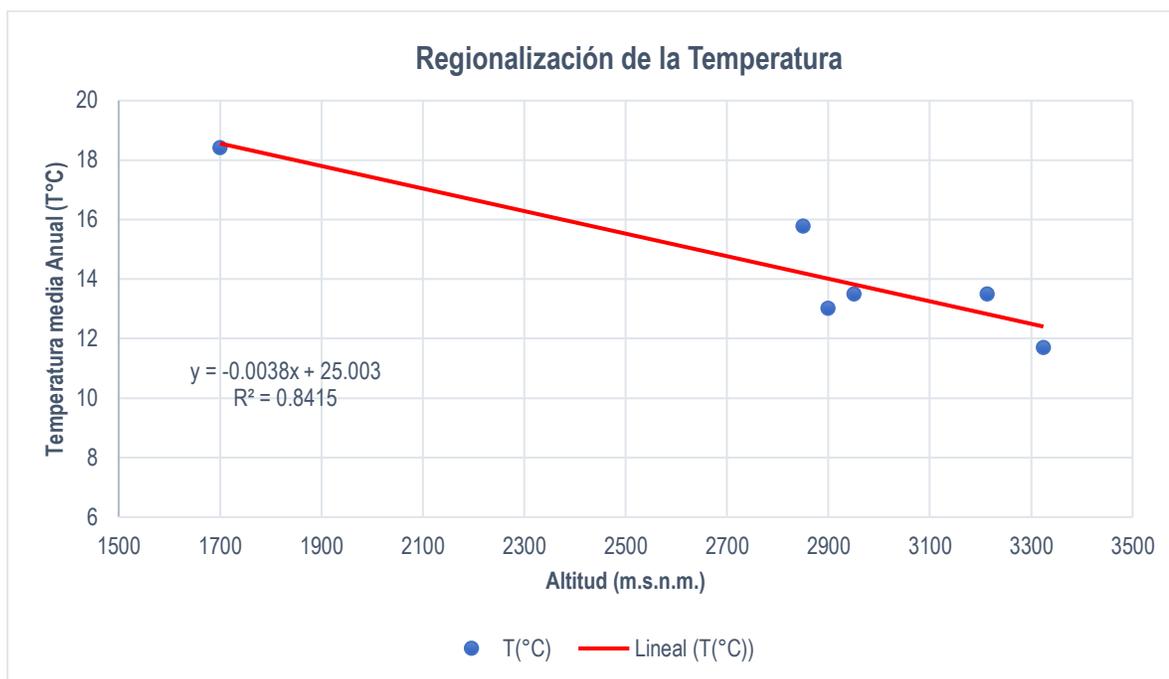


EST-06	CALCA	18S	8521419.113	8521419.113	2951	13.48
--------	-------	-----	-------------	-------------	------	-------

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N°: 16

Gráfico de ecuación de regionalización de temperatura



Fuente: Elaboración propia.

La temperatura media mensual de la cuenca de estudio es de 9.57 °C, en tanto la temperatura media máxima es de 13.99 °C y por último la temperatura media mínima es de 6.37 °C.

Tabla 16:

Temperatura media mensual vs elevación

ESTACIÓN	ALTITUD msnm.	MES / TEMPERATUA MEDIA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
Cuenca de Estudio	2,850	10	10	9.9	9.7	9.4	8.7	8.3	8.7	9.4	10	10.5	10.2	9.57

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 17:

Temperatura mínima mensual vs elevación

ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
Cuenca de Estudio	2,850	7.3	7.4	7.3	6.8	6.1	5.1	4.4	4.7	5.7	6.7	7.4	7.5	6.37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18:

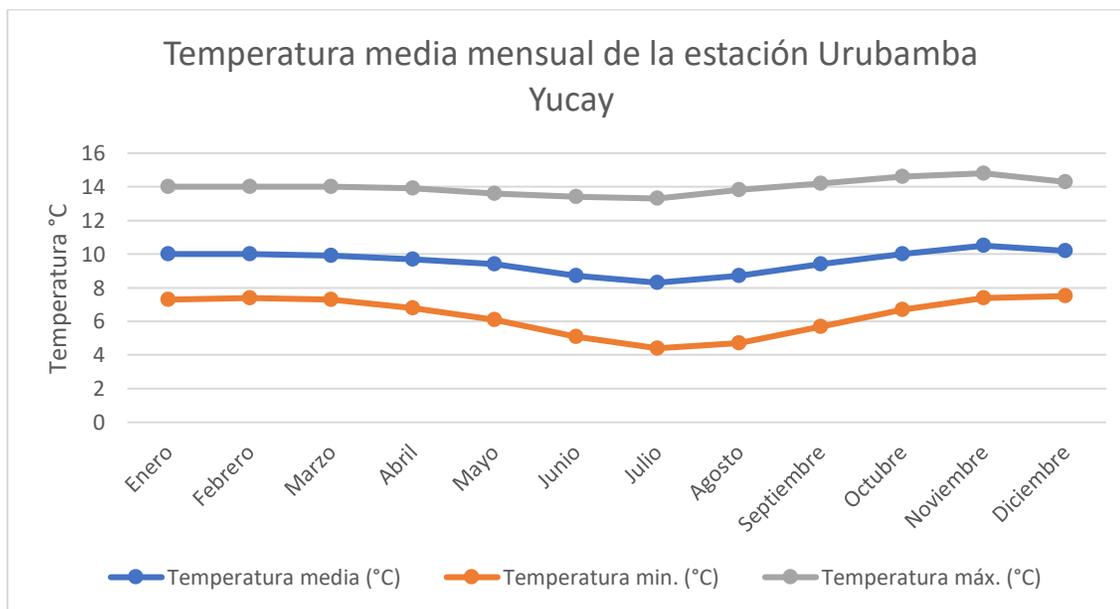
Temperatura máxima mensual vs elevación

ESTACIÓN	ALTITUD msnm.	MES / TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
Cuenca de Estudio	2,850	14	14	14	13.9	13.6	13.4	13.3	13.8	14.2	14.6	14.8	14.3	13.99

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N°: 17

Gráfico del análisis de temperatura





Fuente: Elaboración propia.

6.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

6.3.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

ETP es la cantidad de agua que ingresa a la atmósfera en forma de vapor a través de la evaporación y transpiración directa de las plantas, siempre que la cantidad de agua requerida esté disponible para tales fines. Por lo tanto, no depende de las precipitaciones ni de la cantidad de agua disponible para las plantas en el suelo.

Para el cálculo de la ETP se recurrió a dos métodos: Método de Thornthwaite y Método de Holdridge para posteriormente calcular las zonas de vida en caso del último.

6.3.1.1. Método de Thornthwaite

Para su cálculo se requieren datos de temperaturas medias mensuales, así como para la evapotranspiración mensual “e”, en mm por mes de 30 días de 12 horas de duración.

$$e = 16\left(10\frac{t}{I}\right)^a$$

e = evapotranspiración mensual en mm por mes de 30 días, y 12 horas de duración.

t = temperatura media mensual en °C.

I = índice térmico anual $I = \sum_{j=1}^{12} i_j \Rightarrow i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$

a = exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad.

$$a = 0.6751 \times 10^{-6}I^3 - 0.771 \times 10^{-4}I^2 + 0.01792I + 0.49239$$

Corregir el valor de “e”, de acuerdo con el mes considerado y a la latitud de la localidad que determinan las horas de sol, cuyos valores se obtienen de la tabla.

$$ET_0 = f \times e$$

ET₀ = evapotranspiración de referencia mensual corregida, en mm.

f = factor de corrección.

e = evapotranspiración mensual sin corregir, en mm.



Tabla 19:

Evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite

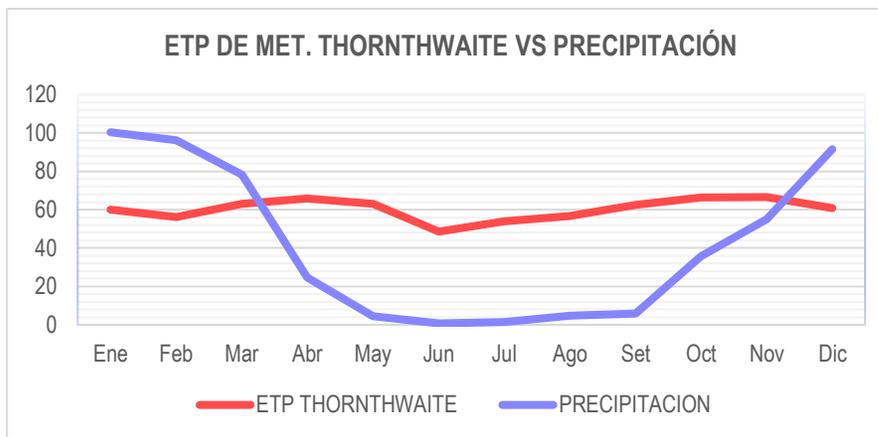
N°	VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
1	Temperatura media Mensual (t)	15.60	15.40	15.00	13.80	12.50	12.10	13.10	14.40	15.60	15.90	15.80	14.60	
2	Índice de Calor Mensual (i)	5.60	5.49	5.28	4.65	4.00	3.81	4.30	4.96	5.60	5.76	5.71	5.07	
3	Índice de Calor Anual (I)	60.23	60.23	60.23	60.23	60.23	60.23	60.23	60.23	60.23	60.23	60.23	60.23	60.22
4	Coefic. Experimental de Ajuste (a)	1.44	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.55
5	Evapotranspiración sin ajuste (Ej)	62.96	61.80	59.51	52.78	45.77	43.68	48.97	56.11	62.96	64.71	64.13	57.24	680.62
6	N° Max. De horas de sol según Latitud(n)	11.30	11.54	11.80	12.17	12.53	12.80	12.90	12.73	12.43	12.00	11.67	11.40	
7	N° de días del mes (N)	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	
8	Coeficiente de Corrección(fc)	1.11	0.98	1.05	0.98	0.99	0.95	0.98	1.00	1.00	1.07	1.06	1.11	
9	Evapotranspiración Potencial (E.T)	61.27	55.45	60.47	53.51	49.39	46.58	54.39	61.52	65.23	66.87	62.35	56.20	693.22

Fuente: *Elaboración propia.*

Gráfico de ETP por el método de Thornthwaite vs Precipitación

FIGURA N°: 18

Evapotranspiración vs precipitación



Fuente: *Elaboración propia.*

De acuerdo a la tabla N°19 se determinó que la evapotranspiración potencial promedio anual es de 693.23 mm y la relación con respecto a la precipitación se observa en la figura 18.

6.3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL



La evapotranspiración verdadera (EPR) es la cantidad de agua que ingresa a la atmósfera como vapor a través de la evaporación y la transpiración directamente de las plantas en función de la disponibilidad de agua.

6.3.3. BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA

Mediante el balance hídrico y el método del caudal base se evaluó la recarga para el acuífero, considerando las entradas y salidas del sistema. En el balance hídrico se consideró los valores mostrados en la Tabla 20, la evapotranspiración potencial se estimó mediante el método Thornthwaite (ver tabla 19), para un área de cuenca 23.86 km².

Tabla 20:

Balance hídrico de la cuenca San Juan según Thornthwaite

Capacidad de Campo (CDC):		<input checked="" type="checkbox"/> El suelo está saturado al inicio del primer mes		Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico			Primer Mes del Año Hidrológico:							
64.8		<input type="radio"/> Introducir % CDC	% respecto a CDC	100		Valor absoluto	Ene							
		<input type="radio"/> Introducir Valor Reserva				64.8								
Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitación) y ETP (evapotranspiración potencial)														
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
	P	105.48	98.31	74.11	25.46	5.07	5.36	6.88	7.12	7.88	37.92	57.57	96.01	527.17
	ETP	61.27	55.45	60.47	53.51	49.39	46.58	54.39	61.52	65.23	66.87	62.35	56.20	693.23
	P-ETP	44.21	42.86	13.64	-28.05	-44.32	-41.22	-47.51	-54.40	-57.35	-28.95	-4.78	39.81	-166.06
	R	64.8	64.8	64.8	36.75	0	0	0	0	0	0	0	39.81	270.96
	AR	0	0	0	-28.05	-36.75	0	0	0	0	0	0	39.81	-24.99
	ETR	61.27	55.45	60.47	53.51	41.82	5.36	6.88	7.12	7.88	37.92	57.57	56.20	451.45
	E	44.21	42.86	13.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.71
	D	0	0	0	0	-7.57	-41.22	-47.51	-54.40	-57.35	-28.95	-4.78	0	-241.78

Fuente: Elaboración propia (software Innersoft ISBH).

$$D = Pp - Etp - E - AR$$

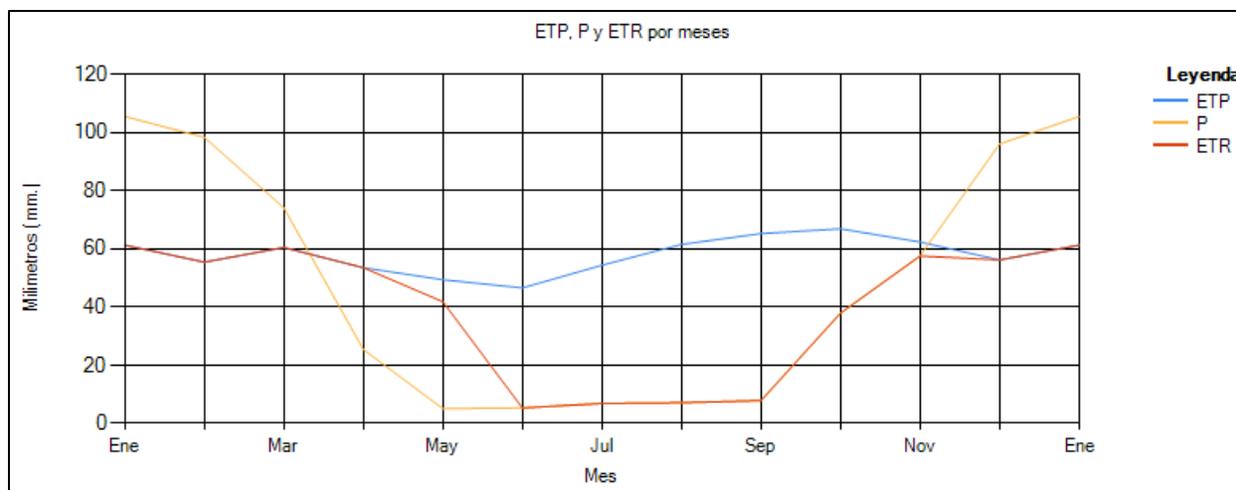
$$D = -241.78$$

El balance hídrico presenta un déficit de almacenamiento, el cual vendría hacer el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua. En la figura 19 se ilustran los valores de evapotranspiración, precipitación y evapotranspiración real.



FIGURA N°: 19

Valores de evapotranspiración, precipitación y evapotranspiración real



Fuente: Elaboración propia (software Innersoft ISBH).

CAPÍTULO VII: GEOFÍSICA

7.1. GENERALIDADES DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

La prospección geofísica es una forma de determinar indirectamente la secuencia estratigráfica en el subsuelo de las diferentes estructuras y formaciones geológicas además de indicar horizontes con características hidráulicas, los métodos geofísicos son limpios y no alteran el medio ambiente.

Las formaciones geológicas que se encuentran en la zona de estudio evidencian resistividades relativamente bajas, esto es indicativo de que hay estratos húmedos a saturados. En los primeros 20 metros de profundidad (para el área de estudio) se encuentran formaciones geológicas con presencia de humedad debido a que se comportan como cuerpos dieléctricos resistivos, esto indica que cuando las aguas están mineralizadas las resistividades serán las más bajas.

En el método de prospección eléctrica por resistividad existen varios tipos de configuraciones las ideadas por Wenner, Lee, Schlumberger en donde pueden ser simétrico o asimétrico, donde los electrodos MN y AB se disponen en línea recta, efectuándose las medidas



desde los primeros metros, hasta un máximo que permitan investigar las profundidades requeridas para el proyecto.

Para la elaboración del presente proyecto se utilizaron las configuraciones tetraelectródicas de Schlumberger, las medidas fueron realizadas con los siguientes espaciados para AB/2: 2, 3,4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 metros, mientras que para los electrodos internos o de recepción MN, fueron 0.8, 6 y 20 metros, el máximo espaciamiento indicado permite investigar hasta 60 metros de profundidad, lo necesario para los propósitos del presente proyecto.

El gráfico que resulta a partir de ubicar en el eje de las ordenadas las resistividades aparentes y en el eje de las abscisas el espaciamiento entre sondeos nos da como resultado perfiles geoelectricos.

Las distribuciones simétricas de electrodos se aplican en zonas con topografía y geología muy homogénea donde se puedan lanzar las líneas sin ningún inconveniente como es el caso de la depresión de anta.

7.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO GEOFÍSICO USADO

El método utilizado en el presente trabajo es el método del arreglo de Schlumberger en la que se envía corriente al terreno mediante dos electrodos A y B, (electrodos de cobre) que se clavan en el suelo y una vez establecido así un campo eléctrico artificial, se investigan sus condiciones con otros dos electrodos M y N, adicionales, también introducidos en el suelo y cuyas distancias se varían convenientemente.

El sondeo eléctrico vertical (SEV), consiste en introducir corriente continua al terreno mediante un par de electrodos llamados de emisión o de corriente A y B, cuya respuesta o sea la diferencia de potencial producido por el campo eléctrico se mide en otro par de electrodos denominados de recepción o de potencial M y N.

Es posible calcular la resistividad del medio según:

$$p = K.\Delta V / I$$

Dónde:

ρ = Resistividad del medio, en Ohm-m.

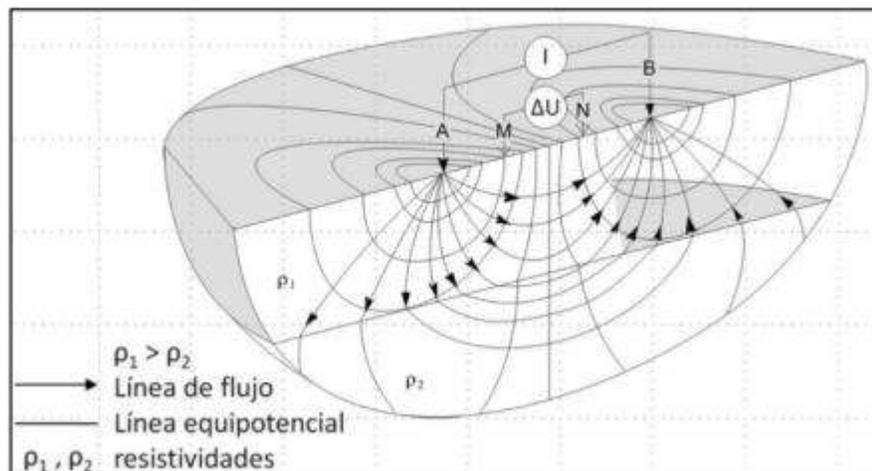
ΔV = Diferencia de potencial, en mV, medida en los electrodos M y N.

I = Intensidad de corriente en mA, medida en los electrodos A y B.

K = Constante geométrica que depende de la distribución de los electrodos.

FIGURA N°: 20

Disposición de electrodos Schlumberger que se utilizó en campo



Fuente: https://fisica.usach.cl/sites/fisica/files/tesis_ricardo_tapia_cordova_2010.pdf

En los sondeos con arreglo Schlumberger, que es el que se utilizó en el presente trabajo, los electrodos están alineados y conservan simetría con respecto al punto central o punto SEV, debiendo cumplirse que el MN sea menor igual que $1/5$ AB.

Al aumentar la distancia entre los electrodos de emisión de corriente, aumenta su profundidad de penetración y también va cambiando las resistividades aparentes.

Estos valores son ploteados desde el principio en una tabla biogarítmica (campo) obteniéndose como resultado una curva, a partir de la cual, mediante diversas técnicas, es posible determinar las resistividades verdaderas y los espesores que las diferentes capas bajo el punto de investigación. De esta manera, se llega a conocer el corte geoelectrico del subsuelo.

En el SEV con arreglo Schlumberger, los electrodos M y N permanecen fijos mientras A y B se aleja, hasta que el valor de la diferencia potencial (ΔV) sea tan pequeño que obligue a aumentar el MN.

EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado es el GEORESISTIVIMETRO WARGPOWER Modelo G-1124, estas máquinas tienen una corriente de 10,000 mA de salida máxima que permite la máxima eficiencia y llegan a profundidades de 1000 a 3000 metros, o más, dependiendo de la anisotropía y efecto de la capa superficial.

Es un instrumento amigable en cuanto a su uso, su manejo es funcional para la lectura de los parámetros en forma precisa, porque cuenta con dos instrumentos digitales de última generación; por tanto, las curvas del perfil del terreno en estudio, refleja los resultados esperados.

Fotografía 32:

Georesistivímetro WARGPOWER Modelo G-1124



Fuente: Propia

El software utilizado para el proceso de datos de SEV y la interpretación fue el Ipi2win de la Moscow State University distribuido por Geoscan-M Ltd que incluye diferentes métodos de



interacción que colaboran en el modelo adecuado con cierto número de capas que pueda corresponder con la realidad del subsuelo estudiado.

El equipo de apoyo logístico cuenta con: cables de extensión, juego de electrodos de cobre para cada punto, equipo de comunicación, GPS o Sistema de Posicionamiento Global.

7.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Modo Transmisión de energía en los Terminales A – B.

Potencial:

- De 0 a 400V, con batería interna de 12 VDC, 7Ah.
- De 0 a 800 V, con batería externa de 24 VDC, 7Ah.
- Medición Digital de la corriente de sondaje:
- Rango de 0 a 499 mA, automático.
- Rango de 0 a 10 A, automático.
- Modo Recepción de voltaje digital, retorno en los terminales M - N.
- Rango de voltaje de 0 hasta 999 mV, automático.
- Precisión 0.03 %
- Rechazo en modo común (CMRR) = 120 dB.
- Impedancia de entrada (terminales M – N) 10 Mohms.

Funciones:

- Pulsador (1) Elimina automáticamente el voltaje natural del Terreno (Potencial espontáneo).
- Pulsador (2) Rango, aumenta una cifra de lectura para mayor sensibilidad.
- Pulsador (3) Congela la lectura tanto corriente (I) como de voltaje (V) para dar tiempo de pasar a la libreta de apunte los valores generados por el terreno.
- Pulsador (4) selecciona el rango de corriente en (MA) miliamperios.
- Pulsador (5) Selecciona el rango de corriente en (A) amperios.

7.4. TRABAJO EN CAMPO

Se efectuaron 3 ensayos SEVS, todos con la configuración tetraelectródico Schlumberger, para la obtención de perfiles geoelectricos que pueda identificar la secuencia estratigráfica, espesor del subsuelo y sobre todo determinar las fronteras con características hidráulicas del subsuelo.

Tabla 21:

Ubicación de SEV con configuración Schlumberger

PUNTOS SEV- COORDENADAS UTM (WGS 84)				
N°	LUGAR	ESTE	NORTE	COTA
SEV 1	Antapacha	816512	8526309	2877
SEV 2	Amacpunco	816380	8527036	3040
SEV 3	Sinsiubamba	814885	8526295	2901.5

Fuente: Propia

Fotografía 33:

Ubicación de SEV



Fuente: Propia

Los datos de resistividad o sin proceso fueron anotados en planillas de campo y también fueron almacenados en tiempo real en una laptop para su posterior compatibilización y



procesamiento de datos. Para proponer la línea geofísica, se desarrolló previamente un estudio geológico y geomorfológico, donde se pueda identificar todas formaciones geológicas en la zona, dado que nos encontramos en un ambiente cuaternario aluvial, coluvial y fluvial.

Las formaciones que se presentan en la zona son tienen valores de resistividad que van de bajas a intermedias, esto es indicativo de presencia de aguas superficiales y subterráneas.

7.5. INTERPRETACIÓN DE PERFILES GEOELÉCTRICOS CON CONFIGURACIÓN SCHLUMBERGE

Se realizó e interpretó tres perfiles geoelectricos en base a resultados obtenidos de los tres Sondeos Eléctricos Verticales, correlacionando los valores de las resistividades con la litología de la zona de estudio. Donde se puede observar las variaciones de resistividad para los diferentes puntos SEV en profundidad.

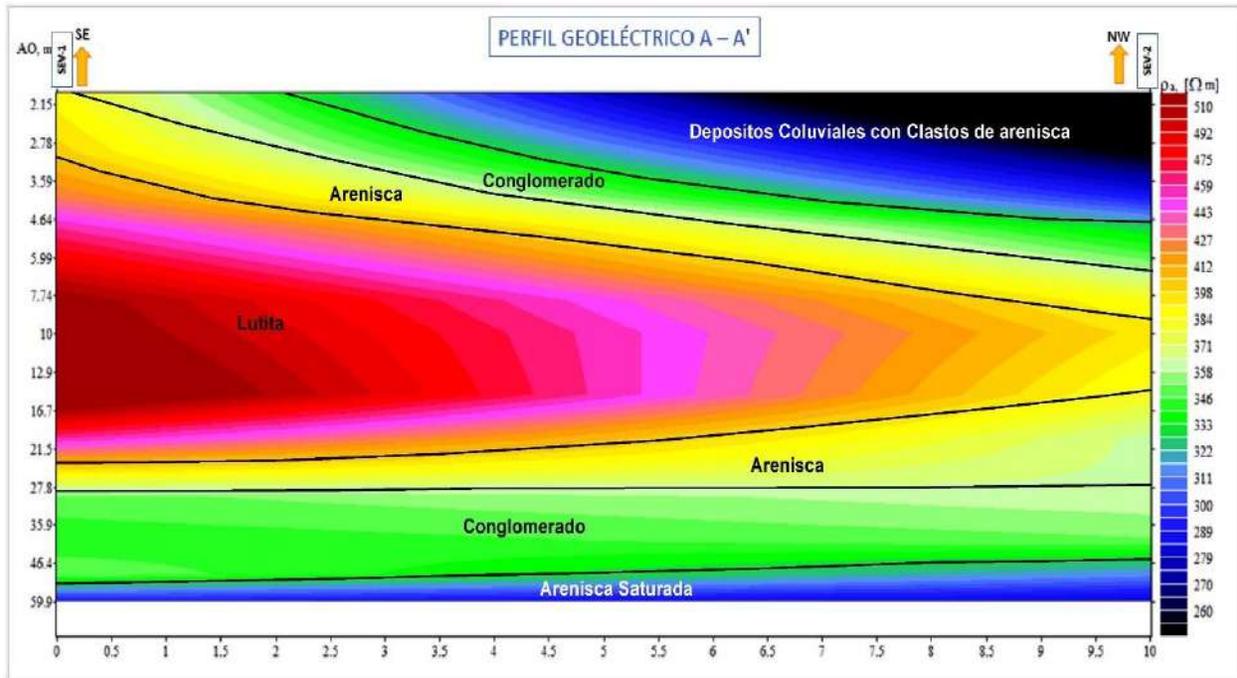
7.5.1. PERFIL GEOELÉCTRICO A-A'

El Perfil geo eléctrico A-A' con rumbo SE- NW, se realizó en base a dos sondajes SEV-01 y SEV-02, cuyos resultados se muestran en la siguiente figura:

Instalación del equipo de Georesistivímetro WARGPOWER Modelo G-1124 para SEV 01

FIGURA N°: 21

Perfil geoelectrico A-A'



Fuente: Propia

INTERPRETACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

EI SEV 01: ubicado en el sector Sureste del perfil geoelectrico A-A', se alcanzó a investigar hasta los 60 m de profundidad. En superficie se tiene una capa con resistividades de $\rho_a=300$ Ohmio-m con un espesor de $E=3$ m que corresponden a areniscas de la formación Kayra; subyaciendo a profundidad de $Z=24$ m, se encuentra una capa de lutitas con resistividad de $\rho_a=450$ Ohmio-m y $E=20$ m; subyace a una profundidad $Z=27$ m un material de arenisca con resistividad de $\rho_a=400$ Ohmio-m y $E=3$ m; subyaciendo a una profundidad de $Z=52$ m se encuentra el material de conglomerado con resistividades de $\rho_a=330$ Ohmio-m con $E=25$ m, finalmente se encuentra a una profundidad de $Z=60$ m capa de areniscas saturados con resistividades de $\rho_a=260$ Ohmio-m con espesor >8 m.

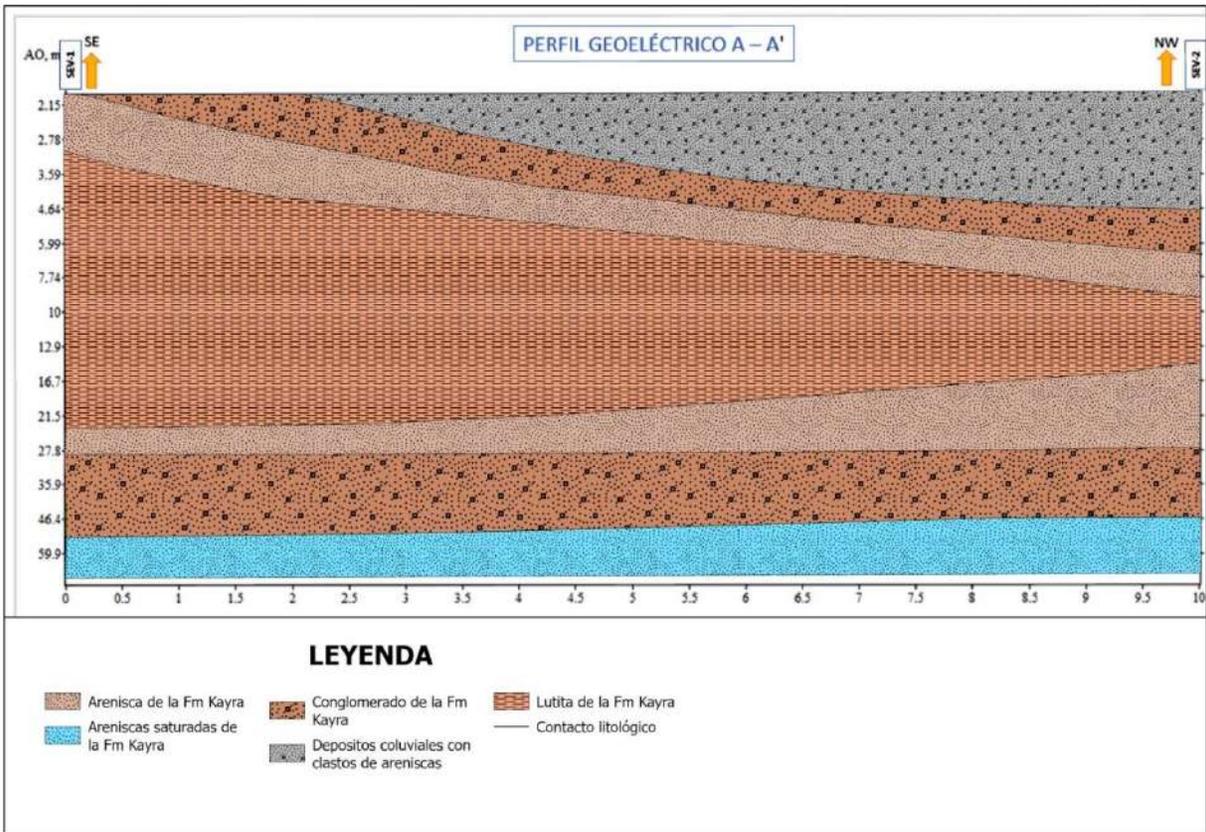


EI SEV 02: ubicado en el sector Noroeste del perfil geo eléctrico A-A', se alcanzó a investigar hasta los 60 m de profundidad. En superficie se tiene una capa de depósitos coluviales con clastos de arenisca con resistividades de $\rho_a=160$ Ohmio-m con un espesor de $E=4$ m que; subyaciendo a profundidad de $Z=6$ m, se encuentra una capa de material de conglomerados con resistividad de $\rho_a=207$ Ohmio-m y $E=2$ m; subyace a $Z=8$ m un material de arenisca con resistividad de $\rho_a=380$ Ohmio-m y $E=2$ m; subyaciendo a una profundidad de $Z=14$ m se encuentra el material de lutitas con resistividad de $\rho_a=400$ Ohmio-m con $E=6$ m; subyace $Z=27$ m, que es un material de areniscas con resistividad de $\rho_a=380$ Ohmio-m con un espesor de $E=13$ m; subyaciendo a una profundidad de $Z=48$ m se encuentra el material de conglomerados con resistividad de $\rho_a=330$ Ohmio-m con $E=21$ m; subyace $Z=60$ m, que es un material de areniscas saturados con resistividad de $\rho_a=270$ Ohmio-m con un espesor de $E>12$ m.

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DEL PERFIL GEOELÉCTRICO EN 2D

FIGURA N°: 22

Sección Litológica entre el SEV 01 y SEV 02



Fuente: Elaboración propia

En el perfil litológico SEV 01 Y SEV 02 A-A' (Ver figura 22), se aprecia diferentes capas litológicas:

Litología 1: Corresponde a una capa de depósitos coluviales con clastos de arenisca con una potencia de 3 metros aproximadamente.

Litología 2: Corresponde a una capa de conglomerado, con una potencia de 2 metros aproximadamente en todo el tramo de la sección.

Litología 3: Corresponde a una capa de arenisca con un espesor de 3.00 m aproximadamente reduciéndose 2 dos metros en la parte intermedia de la sección.



Litología 4: Corresponde a una capa de lutitas, en la parte sur este de la sección su potencia es de 19 metros aproximadamente y en la parte noroeste su potencia se reduce a 3 metros aproximadamente.

Litología 5: Se repite la litología número 3 de una capa de arenisca, variando la potencia en la parte sur este con 6 metros y en la parte noroeste 11 metros aproximadamente.

Litología 6: Se repite la litología número 2 de una capa de conglomerados, con un espesor de 21.00 metros aproximadamente en toda la sección.

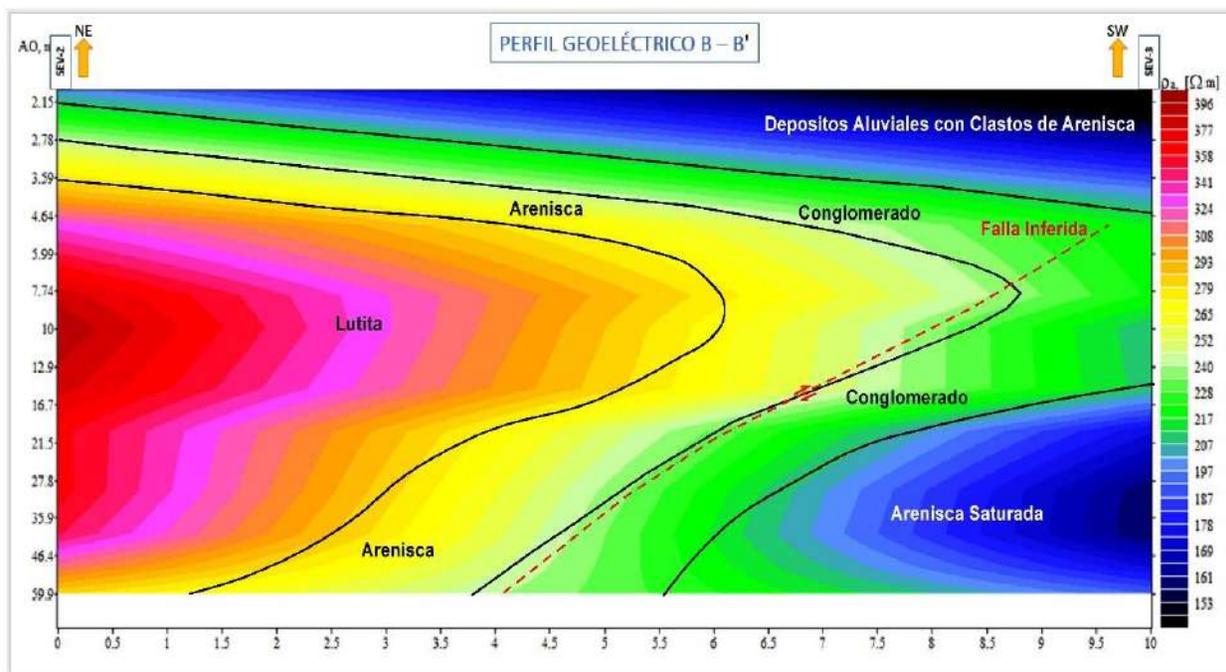
Litología 7: Corresponde a una capa de arenisca saturadas de la formación Kayra, con un espesor > 3 metros en toda de la sección.

7.5.2. PERFIL GEOELÉCTRICO B-B'

Perfil geoelectrico B-B' con rumbo Noreste a Suroeste, se realizó en base a dos sondajes SEV - 02 y SEV - 03, cuyos resultados se muestran en la siguiente figura:

FIGURA N°: 23

Perfil geoelectrico B-B'



Fuente: Elaboración propia



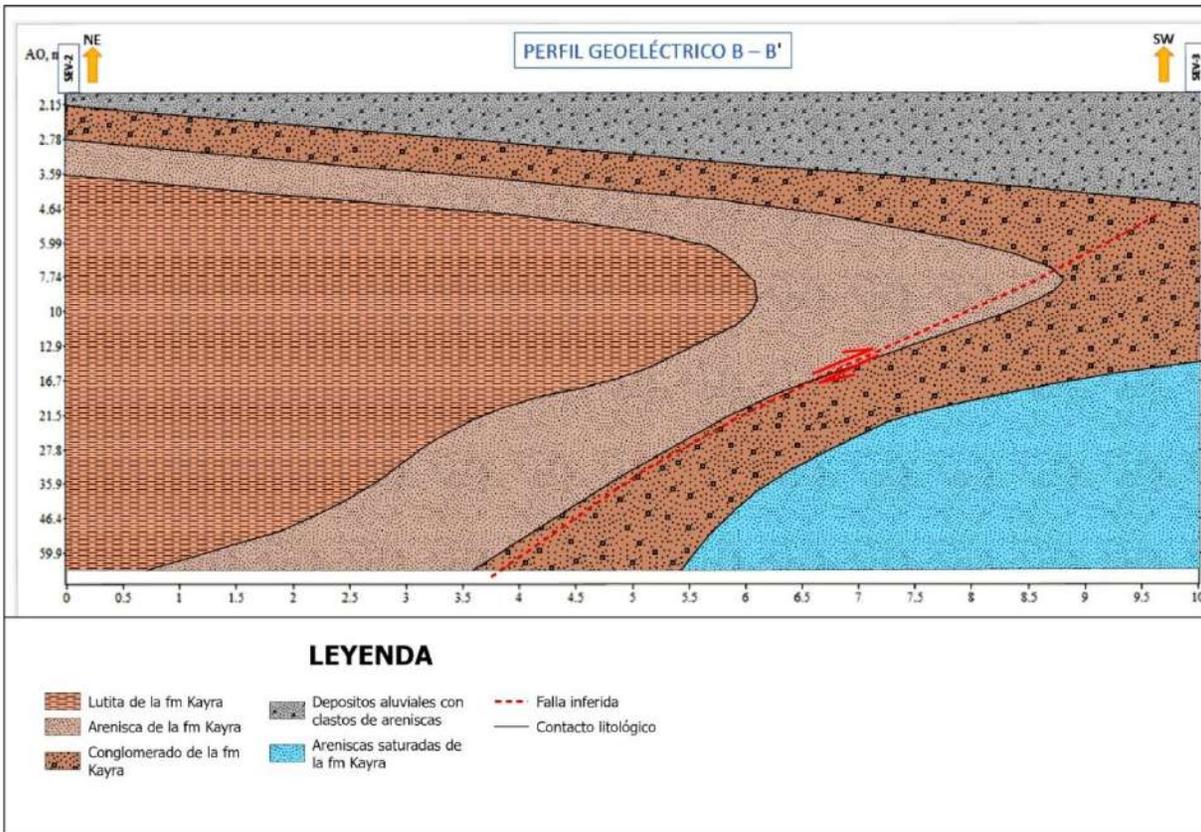
EI SEV 02: ubicado en el sector Noreste del perfil geoelectrico B-B', se alcanzó a investigar hasta los 60 m de profundidad. En superficie se tiene una capa delgada de depósitos aluviales con clastos de arenisca con resistividades de $\rho_a=180$ Ohmio-m con un espesor de $E=2$ m.; subyaciendo a profundidad de $Z=3$ m, se encuentra una capa de conglomerados con resistividad de $\rho_a=207$ Ohmio-m y $E=1$ m; subyace a $Z=4$ m un material de areniscas con resistividad de $\rho_a=380$ Ohmio-m y $E=1$ m; subyaciendo a una profundidad de $Z=60$ m se encuentra el material de lutitas con resistividad de $\rho_a=333$ Ohmio-m con $E=56$ m.

EI SEV 03: ubicado en el sector suroeste del perfil geoelectrico B-B', se alcanzó a investigar hasta los 60 m de profundidad. En superficie se tiene una capa de depósitos aluviales con clastos de arenisca que tienen una resistividad de $\rho_a=170$ Ohmio-m con un espesor de $E=5$ m; subyaciendo a profundidad de $Z=15$ m, se encuentra una capa de conglomerado con resistividad de $\rho_a=215$ Ohmio-m y $E=10$ m; subyace a $Z=60$ m de un material arenisca saturada con resistividades bajas de $\rho_a=153$ Ohmio-m con $E=45$ m.

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DEL PERFIL GEOELÉCTRICO EN 2D

FIGURA N°: 24

Sección Litológica del SEV 02 y SEV 03



Fuente: *Elaboración propia*

En el perfil litológico SEV 02 Y SEV 03 B-B' (Ver figura 24), se aprecia diferentes capas litológicas:

Litología 1: Corresponde a una capa de depósitos aluviales con clastos de arenisca con una potencia de 3 metro aproximadamente.

Litología 2: Corresponde a una capa de conglomerados, con una potencia variada en toda la sección al noreste se aprecia una potencia de 2 metros aproximadamente en la parte suroeste llega a tener una potencia de 10 metros aproximadamente y en la parte intermedia tiene una disposición irregular que pertenece a la formación Kayra.



Litología 3: Corresponde a una capa de areniscas con un espesor de 2 metros aproximadamente aumentando su potencia en la parte intermedia, también tiene una disposición irregular llegando a tener una potencia de 18 metros aproximadamente.

Litología 4: Corresponde a una capa de lutitas y solo se concentra en la parte Noreste de la sección llegando a tener una potencia de >57 metros y se observa que en la parte intermedia su potencia se reduce.

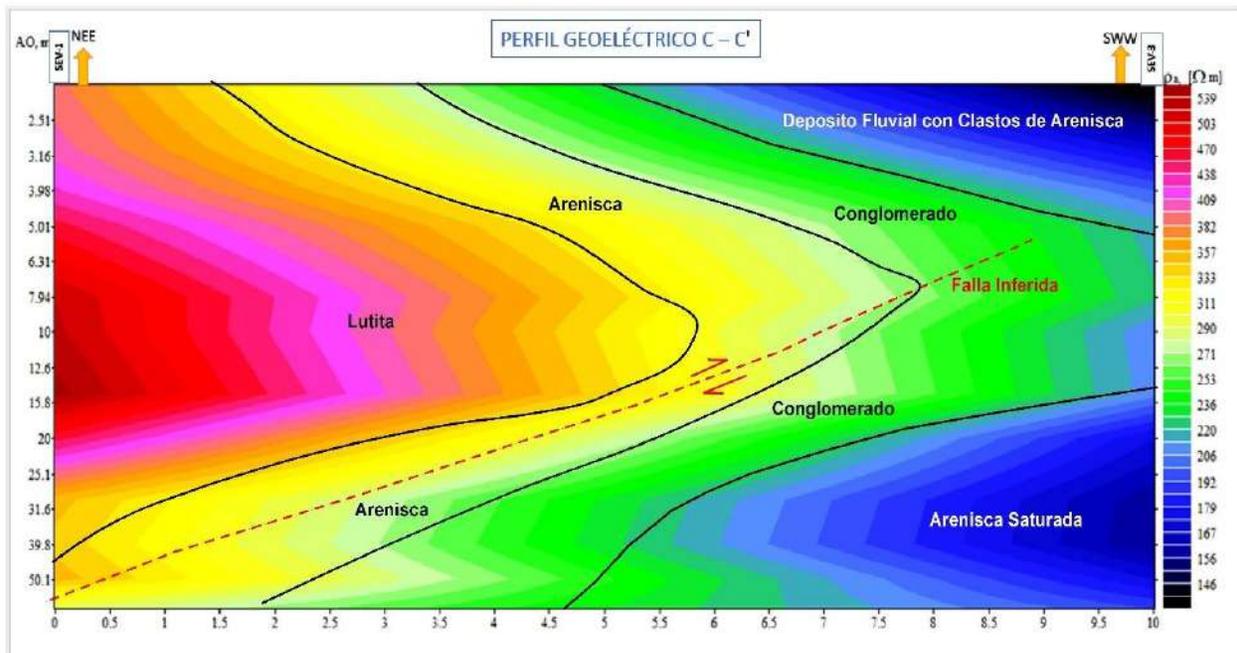
Litología 5: Corresponde a una capa de areniscas saturadas solo se puede apreciar en la parte suroeste de la sección llegando a tener una potencia > 40 metros hacia abajo.

7.5.3. PERFIL GEOELÉCTRICO C-C'

Perfil geoelectrico C-C' con rumbo Noresteeste a Suroesteeste, se realizó en base a dos sondajes SEV - 01 y SEV - 03, cuyos resultados se muestran en la figura 25.

FIGURA N°: 25

Perfil geoelectrico C-C'



Fuente: Propia



El SEV 03 ubicado en el sector suroeste del perfil geo eléctrico C-C', se alcanzó a investigar hasta los 55 m de profundidad.

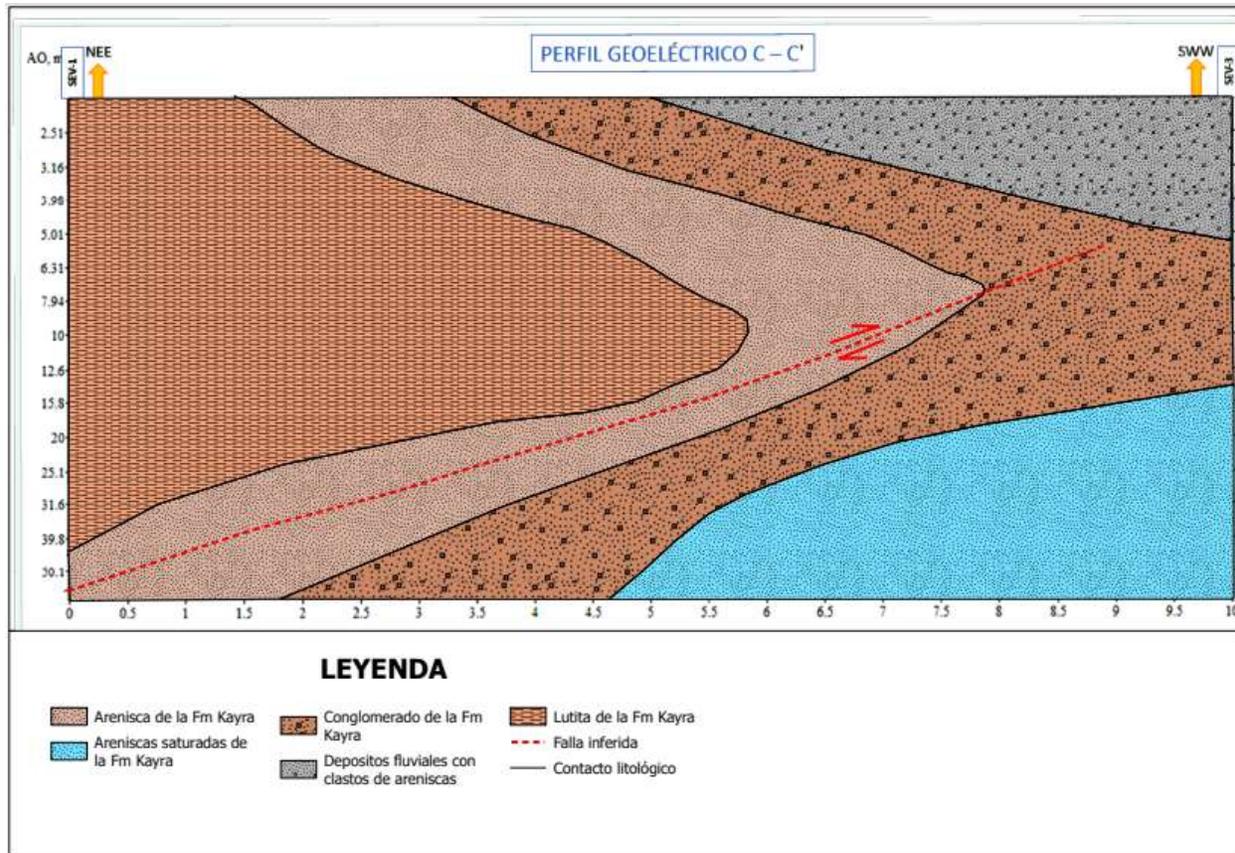
EI SEV 01 ubicado en el sector NEE del perfil geoelectrico C-C', se alcanzó a investigar hasta los 55 m de profundidad. En superficie se tiene una capa con resistividades de $\rho_a=400$ Ohmio-m con un espesor de $E=51$ m que corresponden a un material de lutitas; subyaciendo a profundidad de $Z=55$ m, se encuentra una capa de material de areniscas con resistividad de $\rho_a=290$ Ohmio-m.

EI SEV 03 ubicado en el sector SOO del perfil geoelectrico C-C', se alcanzó a investigar hasta los 55 m de profundidad. En superficie se tiene una capa de depósito fluvial con clastos de arenisca que tienen una resistividad de $\rho_a=160$ Ohmio-m con un espesor de $E=5$ m; subyaciendo a profundidad de $Z=15$ m, se encuentra una capa de conglomerado con resistividad de $\rho_a=215$ Ohmio-m y $E=10$ m; subyace a $Z=55$ m de un material de areniscas saturadas con resistividades bajas de $\rho_a=153$ Ohmio-m con $E=40$ m.

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DEL PERFIL GEOELÉCTRICO EN 2D

FIGURA N°: 26

Sección Litológica del SEV 01 y SEV 03



Fuente: Elaboración propia

En el perfil litológico SEV 01 Y SEV 03 C-C' (Ver figura 26), se aprecia diferentes capas litológicas:

Litología 1: Corresponde a una capa de depósitos fluviales con clastos de arenisca, con una potencia de 4 metro aproximadamente y solo aparece al SO de la sección.

Litología 2: Corresponde a una capa de conglomerados, con una potencia variada en toda la sección al suroeste se aprecia una potencia de 10 metros aproximadamente en la parte intermedia tiene una potencia de 20 metros aproximadamente tiene una disposición irregular.

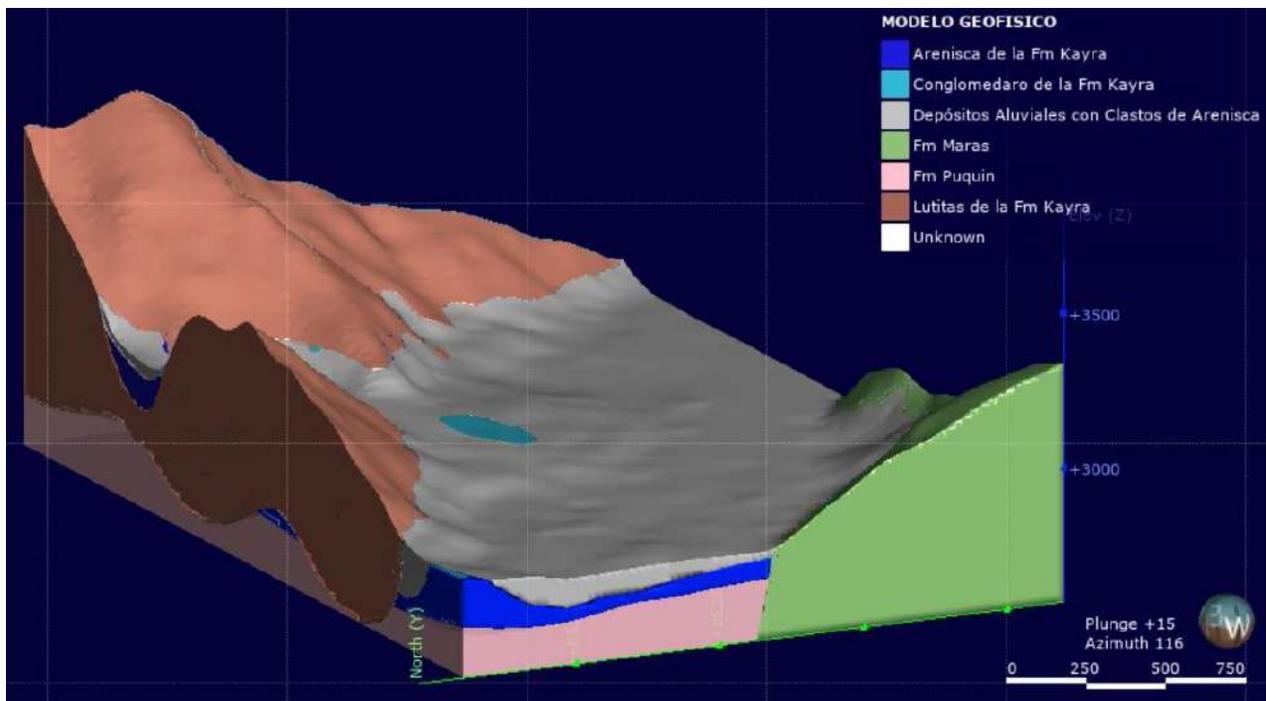
Litología 3: Corresponde a una capa de arenisca con un espesor variado aumentando su potencia en la parte intermedia llegando a tener 15 metros aproximadamente.

Litología 4: Corresponde a una capa de lutitas y solo se aprecia en la parte NEE de la sección llegando a tener una potencia de 50 metros aproximadamente y en la parte intermedia su potencia se reduce paulatinamente.

Litología 5: Corresponde a una capa de arenisca saturada y solo se puede apreciar en la parte SOO de la sección llegando a tener una potencia > 45 metros hacia abajo.

FIGURA N°: 27

Modelo geofísico en 3D vista al NE.

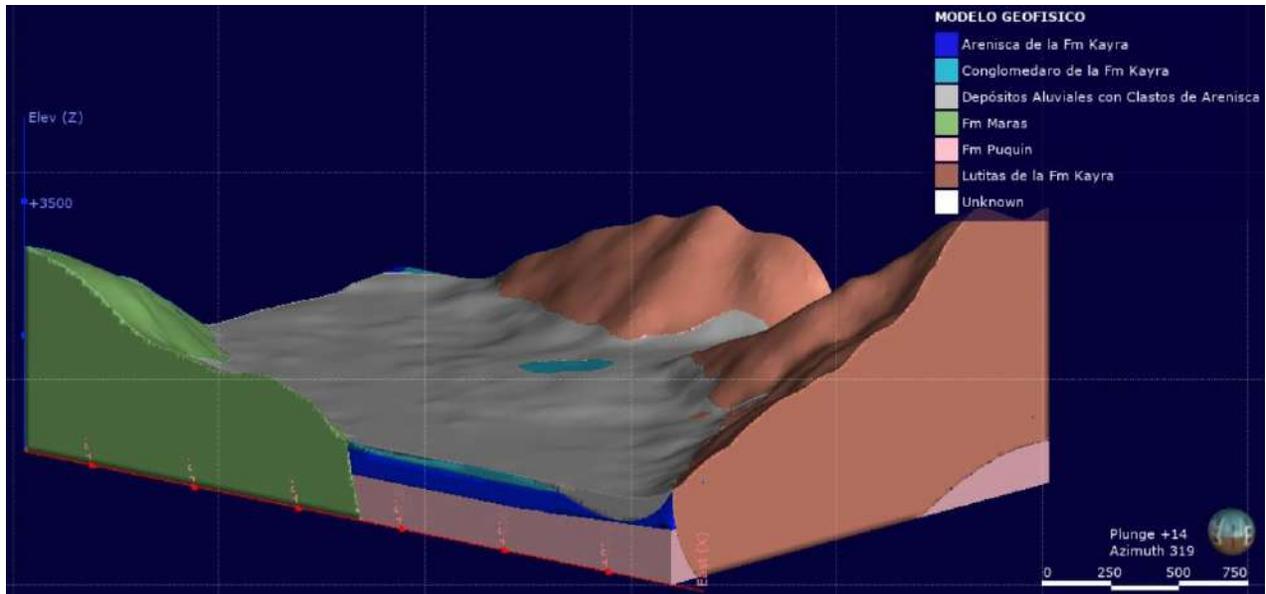


Fuente: Propia



FIGURA N°: 28

Modelo geofísico en 3D con vista al NO.



Fuente: Propia



CAPÍTULO VIII: HIDROGEOLOGÍA

GENERALIDADES

Para desarrollar el estudio hidrogeológico de la cuenca San Juan, se ha realizado la recopilación de información de otros factores como las formaciones geológicas, la parte estructural de la zona, el inventario de fuentes de agua y el resultado de la permeabilidad de cada formación geológica, estos datos nos permitirán conocer los parámetros para evaluar el comportamiento físico, químico y mecánico de las aguas subterráneas, con esto determinamos el flujo del agua, sus caudales respectivos y volúmenes de reserva de los acuíferos. Por tanto, este capítulo nos permitirá analizar la recarga y descarga del agua de la cuenca San Juan.

8.1. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Para identificar cada unidad hidrogeológica primero se realizó el inventario de fuentes de agua, en la cuenca San Juan se registraron 13 principales fuentes de agua superficiales y subterráneas, de los cuales 09 son subterráneas que afloran de forma natural en la superficie como manante y 04 de ellas son superficiales que en su mayoría afloraron condicionados por rocas permeables o por materiales de cobertura que no están consolidados.

Durante el trabajo de campo realizado se tomó parámetros fisicoquímicos como el potencial de hidrogeno (PH), total de solidos disueltos, conductividad eléctrica y temperatura, estos datos se recolectaron en el mes de junio que pertenece a la época de estío por lo que los caudales corresponden a la descarga de los acuíferos de la zona, en el siguiente cuadro resumen se ve los datos tomados en campo.

Tabla 22:

Tabla resumen del inventario de fuentes de agua.

FUENTE	NUMERO	PARAMETROS IN SITU	DESCRIPCION
Manantiales	9	temperatura, Ph, CE y TDS	Se tomo datos de las muestras en los ojos de agua de los manantiales



Superficial	4	temperatura, Ph, CE y TDS	Se tomo datos de las muestras en las mismas aguas superficiales
TOTAL DE MUESTRAS	13		

Fuente: *Elaboración propia*

Los parámetros considerados para el inventario de fuentes de agua son: el código de identificación, nombre de la cuenca, sector, tipo de fuente de agua, coordenadas UTM y parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, PH, TDS, temperatura). Las medidas de las fuentes de agua se tomaron el 07 de junio del 2023 según se observa en el siguiente cuadro resumen.

Tabla23:

Parámetros fisicoquímicos del inventario de aguas

LEYENDA											
Código	Cuenca	Sector	Tipo de fuente	Este	Norte	Cota	Ph	CE (μS/cm)	TSD (mg/l)	T (°C)	Q (l/s)
SP-1	San Juan	Cuyoq 2	Superficial	817658	8531109	4057	8.1	90	40	9.5	0.29
SP-3	San Juan	Río San Juan	Superficial	817663	8531146	4057	8	70	70	14.5	212.4
SP-2	San Juan	Cuyoq 1	Superficial	817650	8531089	4057	7.6	60	80	11	1.442
SB-4	San Juan	Chuyunapata	Subterráneo	817871	8529537	3978	7.9	300	140	15.2	0.467
SB-5	San Juan	Huachaq	Subterráneo (manante perenne)	815062	8526909	2868	7.6	510	250	16.4	87.61
SB-1	San Juan	San Juan 1	Subterráneo	816708	8529944	3726	7.9	320	160	14.5	0.324
SB-2	San Juan	San Juan 2	Subterráneo	816612	8529728	3750	7.8	340	180	14.9	0.196
SB-3	San Juan	Morayoq	Subterráneo	816629	8525543	2861	7.9	430	210	15.6	77.5
SB-9	San Juan	Soqospuqullo	Subterráneo (manante perenne)	816812	8525527	2859	7.6	430	190	14.9	58.24
SB-8	San Juan	Mantoroccocha	Subterráneo	817117	8524898	2863	7.6	480	230	15.3	0.126
SB-6	San Juan	Huayllapampa	Subterráneo	816552	8525715	2860	7.6	500	250	14.8	0.192
SB-7	San Juan	Miskapampa	Subterráneo	815903	8525712	2861	7.8	500	250	15.8	14.23
SP-4	San Juan	Unuraqui (río San Juan)	Superficial	816055	8526878	2955	8	75	80	15.8	336

Fuente: *Elaboración propia*

8.2. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

POROSIDAD DE LAS FORMACIONES GEOLOGICAS



La porosidad de un material de acuerdo con su origen se clasifica en primaria y secundaria, la porosidad primaria o intergranular se origina durante el proceso de formación de la roca y la porosidad secundaria se origina por procesos naturales o artificiales posteriores al origen de la roca.

En la zona de estudio encontramos materiales geológicos que presentan ambas porosidades, sin embargo, para este estudio la más importante es la porosidad secundaria que está ligada a procesos tectónicos produciendo fallas y fracturas que son zonas de debilidad por donde pasa el agua, respecto a la porosidad primaria en los materiales pueden o no transportar agua dependiendo si sus poros están interconectados, cuando los poros se conectan entre si se llama porosidad eficaz.

Los valores de porosidad de los materiales geológicos que se encuentran en la zona de estudio, según Sanders (1998), se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 24:

Porosidad de materiales geológicos de la zona de estudio según Sanders

Valores de porsidad según Sanders (1998)		
MATERIAL	POROSIDAD TOTAL (%)	POROSIDAD EFICAZ (%)
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Lutita intacta	1 a 10	0.5 a 5
Lutita fracturada o alterada	30 a 50	
Areniscas	5 a 35	0.5 a 10
Calizas, dolomias no carstificadas	0.1 a 25	0.1 a 5
Calizas, dolomias carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas igneas y metamorficas sin fracturar	0.01 a 1	0.0005
Rocas igneas y metamorficas fracturadas	1 a 10	0.00005 a 0.01

Fuente: Sanders (1998)

8.3. PERMEABILIDAD DE LAS FORMACIONES GEOLOGICAS



La permeabilidad o conductividad hidráulica es la capacidad de un material de permitir la circulación de un fluido a través de sí, en la situación del actual estudio, el fluido de interés es el agua, este depende tanto de factores intrínsecos y extrínsecos, donde los factores intrínsecos son propios del material geológico como su porosidad, y los extrínsecos depende de las características del fluido principalmente su viscosidad y su peso específico.

La permeabilidad del material geológico es un factor importante para determinar la velocidad del flujo de las aguas principalmente subterráneas, por tanto, ayudan a la definición del tipo de acuífero de la zona de estudio.

En la zona de estudio la permeabilidad del material geológico tanto suelos como rocas se medirán de manera vertical por infiltración puntual, para las rocas se considera dos tipos, la permeabilidad propia que presentan las rocas detríticas y la adquirida por la roca mediante fisuras.

Tabla 25:

Clasificación de terrenos por la permeabilidad

Valores m/día	Permeabilidad										
	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4
Calificación	Impermeables		Poco permeable		Algo permeable		Permeable			Muy permeable	
Calificación del acuífero	Acuíclude		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero de regular a bueno			Acuífero excelente	
Tipo de materiales	Arcilla compacta Pizarra Granito		Limo arenoso Limo Arcilla limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava y arena Arena fina			Grava limpia	

Fuente: Custodio, E & Llamas, M (1983). *Hidrogeología subterránea*. (2° Edición). ed. Barcelona: Omega. Pag 473



Tabla 26:

Valores de permeabilidad para materiales no consolidados según Silin-Bekchurin

Material	k en cm/seg	k en m/día (aproxim.)
Grava limpia	>1	>1000
Arena gruesa limpia	1 a 10^{-2}	1000 a 10
Mezcla de arena	10^{-2} a $5 \cdot 10^{-3}$	10 a 5
Arena fina	$5 \cdot 10^{-3}$ a 10^{-3}	5 a 1
Arena limosa	$2 \cdot 10^{-4}$ a 10^{-4}	2 a 0.1
Limo	$5 \cdot 10^{-4}$ a 10^{-5}	0.5 a 0.001
Arcilla	$<10^{-6}$	<0.001

Fuente: Custodio, E & Llamas, M (1983). Hidrogeología subterránea. (2° Edición). ed. Barcelona: Omega. Pag 471

Tabla 27:

Valores de permeabilidad y porosidad para clasificaciones hidrogeológicas

	Porosidad (m)	Permeabilidad (k)
Acuífero	Alta o moderada	Alto
Acuitardo	Alta o moderada	Bajo
Acuicludo	Alto	Nulo
Acuífugo	Nulo o muy bajo	Nulo

Fuente: Peña, F., Sánchez, M. & Pari, W. (2010). Hidrogeología de la cuenca del río Ica. INGEMMET. Boletín. Serie H: Hidrogeología. Pag 50.

8.3.1. ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Para este estudio se realizó el ensayo de carga variable de Lefranc, se desarrolló in situ con la finalidad de determinar los valores de permeabilidad de las formaciones geológicas, en el ensayo se debe medir la velocidad con la que desciende el nivel de agua, se utiliza un tubo insertado en la litología en la que se desea calcular la permeabilidad para luego echar agua en el tubo, esta agua será absorbida por el material geológico y se generará un caudal con la que el agua descenderá.

ENSAYO DE LEFRANC CON REGIMEN DE CARGA VARIABLE

Según Jimenez, 1981 este ensayo consiste en hacer subir el nivel del agua hasta una altura h_0 , y después se medirán dos niveles, h_1 y h_2 donde transcurre el tiempo t . La conductividad se determinará con la siguiente formula:

$$K = \frac{d_e^2 \ln\left(\frac{2L}{d}\right)}{8.L.t} \cdot \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

$$k = \frac{\pi * r}{4 * (t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Donde:

K: Conductividad Hidráulica

h_1, h_2 : Altura del agua al principio y al final del ensayo

t: Tiempo transcurrido entre la observación de los niveles h_1 y h_2

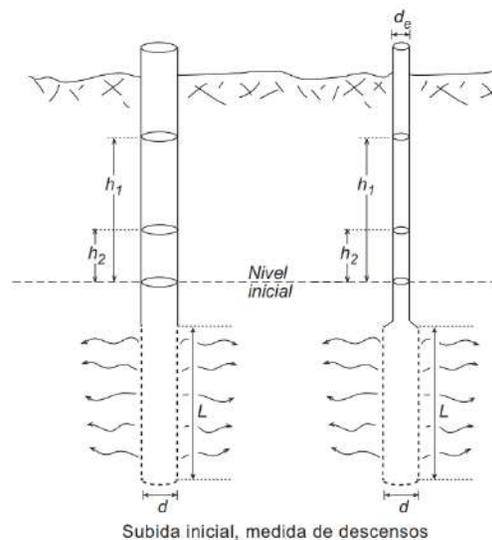
L: Longitud de la zona filtrante

d: Diámetro de la zona filtrante

d_e : Diámetro de la entubación (puede ser igual a d)

FIGURA N°: 29

Ensayo de Lefranc de carga variable



Fuente: Sánchez F. (2011). *Medidas puntuales de permeabilidad (“Slug Tests”). Departamento geología. Universidad de Salamanca. Pag 3*

Se realizó los ensayos de permeabilidad en diferentes puntos específicos de la cuenca utilizando el método de Lefranc con régimen variable, luego de recopilar los datos se clasificó las formaciones geológicas según la recopilación de información mostradas anteriormente.

Fotografía 34:

Ensayo de permeabilidad realizado in situ



Fuente: Propia

Se realizaron 9 ensayos de permeabilidad in situ, en el siguiente cuadro resumen están los valores obtenidos de campo de cada formación geológica y su característica hidrogeológica según su permeabilidad obtenida:

Tabla 28:

Resumen de ensayos de permeabilidad

Cód.	Unidad geológica	Símbolo geológico	UTM		Altitud	K (m/día)	Caracterización hidrogeológica	Símbolo hidrogeológico
			Este	Norte				
ELV1	Dep. Morrenico	Qh-g	817774	8531243	4087	1.04336	Acuífero no consolidado	ANC-g
ELV2	Dep. Fluvial	Qh-f	816693	8527420	3109	1.65115	Acuífero no consolidado	ANC-f



ELV3	Dep. Coluvial-Fluvial	Qh-c-f	816722	8527723	3157	0.01243	Acuitardo no consolidado	ATNC-c-f
ELV4	Dep. Coluvial	Qh-c	816706	8527732	3159	0.00988	Acuitardo no consolidado	ATNC-c
ELV5	Dep. Aluvial-Morrenico	Qh-al-g	817277	8530568	3885	0.02800	Acuitardo no consolidado	ATNC-al-g
ELV6	Dep. Aluvial	Qh-al	816529	8527349	3055	0.00448	Acuitardo no consolidado	ATNC-al
ELV7	Fm. Kayra	Peo-Ky	816380	8528230	3288	0.85836	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-ky
ELV8	Fm. Quilque-Chilca	Pp-qc	816719	8529002	3466	0.00578	Acuitardo sedimentario	ATCS-qc
ELV9	Fm. Puquin	Ks-pu	816709	8529659	3645	0.00488	Acuitardo sedimentario	ATCS-pu
ELV10	Fm. Maras	Ki-ma	817458	8529781	3771	0.00369	Acuitardo sedimentario	ATCS-ma
ELV11	Fm. Paucarbamba	Ki-pb	816745	8530136	3751	0.00315	Acuitardo sedimentario	ATCS-pb
ELV12	Fm. Huancane	Ki-hu	816951	8530264	3772	0.06117	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-hu
ELV13	Fm. Pachatusan	PsTi-m-pa	818285	8531691	4158	0.02073	Acuífero fisurado	AF-m-pa
ELV14	Granito	PsTi-gr	818079	8532267	4385	0.01359	Acuífero fisurado	AF-gr

Fuente: propia

8.4. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA SAN JUAN

La clasificación hidrogeológica de la cuenca San Juan del distrito de Yucay se realizó de acuerdo a la litología de las formaciones geológicas, conjunto con los datos obtenidos del ensayo de permeabilidad que se realizó in situ para cada litología como también el inventario de fuentes de agua, además es importante resaltar que la geología estructural también es de importancia porque gracias a la tectónica las formaciones geológicas pueden convertirse en acuíferos, las zonas de falla y fracturas son las que dan porosidad secundaria a las rocas por las que el agua fluirá hasta desembocar en manantes u ojos de agua.



En la cuenca San Juan se identificó acuíferos no consolidados y fisurados también se encontró acuitardos no consolidados y sedimentarios.

ACUÍFEROS

Los acuíferos son unidades geológicas que tienen la capacidad de almacenar y circular el agua a través de sí libremente en cantidades significantes, debido a que tienen buena porosidad eficaz y permeabilidad. De acuerdo a la litología y conductividad hidráulica que posee el material geológico los acuíferos presentes en la zona de estudio son de dos tipos:

ACUIFEROS NO CONSOLIDADOS

En esta unidad hidrogeológica se encuentran dos unidades geológicas las cuales son los depósitos fluviales que están compuestos por gravas de diversos tamaños envueltos una matriz de arena fina limosa con poca presencia de arcillas y los depósitos morrénicos que se componen por bloques y gravas de areniscas, envueltos en una matriz areno-limoarcillosa. Ambas unidades son permeables lo cual los hace acuíferos porosos no consolidados.

ACUIFEROS FISURADOS

En esta unidad hidrogeológica se encuentran las formaciones Kayra, Huancané que son de origen sedimentario, las cuales están compuestas por areniscas de grano fino a medio con intercalación de lutitas, de origen ígneo están el granito y la formación Pachatusan, estas cuatro unidades se encuentran fracturados por la tectónica del lugar, lo cual los hace permeables y acuíferos fisurados.

ACUITARDOS

Los acuitardos son unidades geológicas que tienen baja permeabilidad por lo que contienen agua y a través de sí la transmiten muy lentamente. De acuerdo a la litología y conductividad hidráulica que posee el material geológico los acuitardos presentes en la zona de estudio son de dos tipos:

ACUITARDOS NO CONSOLIDADOS

En esta unidad hidrogeológica se encuentran los depósitos coluviales, aluviales, la combinación de depósitos aluviales-morrenicos y coluviales-fluviales, que se caracterizan por presentar gravas con matriz de materiales no consolidados finos como limos y arcillas en gran mayoría, por lo que presentan baja permeabilidad y los hace acuitardos no consolidados.

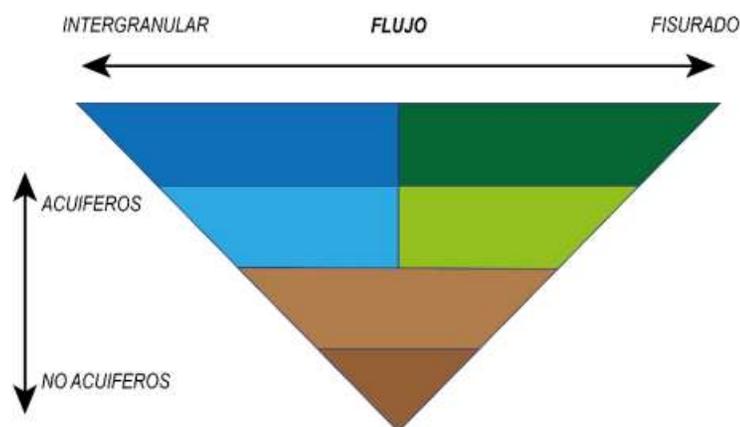
ACUITARDOS SEDIMENTARIOS

En esta unidad hidrogeológica se encuentran las formaciones Quilque, Chilca, Maras, Puquin y Paucarbamba, que se caracterizan por presentar en gran extensión lutitas y en menor cantidad conglomerados y areniscas de grano fino, además las formaciones Maras, Paucarbamba presentan margas y calizas, estas unidades presentan fracturas rellenas de material fino, tienen baja permeabilidad por lo que son acuitardos sedimentarios.

Para la elaboración del mapa hidrogeológico se consideró asignar colores según el manual para la elaboración de mapas hidrogeológicos de la asociación internacional de hidrogeólogos de los autores Struckmeier y Margat (1995).

FIGURA N°: 30

Esquema de colores de las características hidrogeológicas



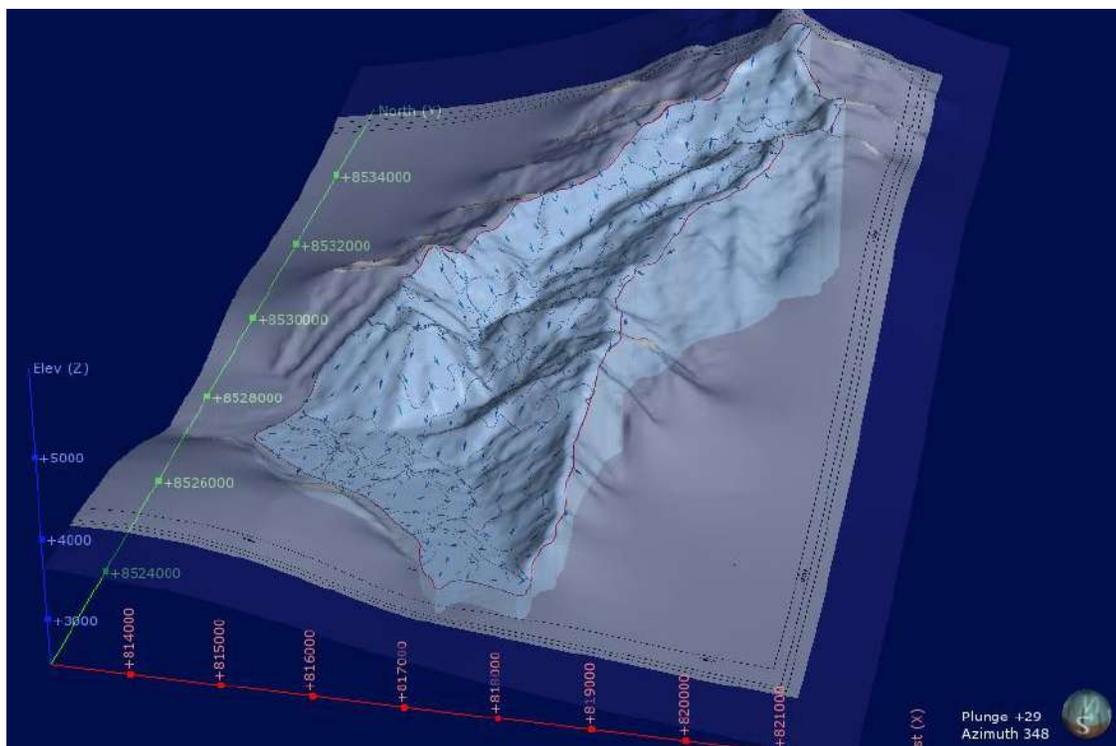
Fuente: Struckmeier W. & Margat J. (1995). *Hydrogeological Maps A guide and Standard Legend. International Association of Hydrogeologists. Hannover: Heise, Pag 114.*

DIRECCION DE FLUJO

Para la elaboración de una red de flujo se necesitan datos piezométricos, pero también se puede considerar las altitudes de los manantiales y las posibles profundidades de las filtraciones de agua en el material geológico que se obtuvieron mediante datos geofísicos, cabe aclarar que este análisis es hipotético.

FIGURA N°: 31

Imagen en 3D de las isohipsas freáticas y las direcciones flujo de la cuenca San Juan



Fuente: Elaboración propia

8.5. ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA DE LA CUENCA SAN JUAN

ZONAS DE RECARGA

Las zonas de recarga son fuentes de alimentación del acuífero, donde la cuenca recepciona agua para luego fluir en la zona de estudio, generalmente se encuentran ubicadas en la parte alta de la cuenca, en nuestra zona de estudio la zona de recarga se encuentra abarcando



formaciones litológicas como el granito del macizo de Urubamba, la formación Pachatusan, Huancané, Paucarbamba, Maras, Puquín, Quilque-Chilca y Kayra, estas fuentes de agua son:

- Los aportes de agua directa mediante las precipitaciones fluviales principalmente las prolongadas y torrenciales.
- Los aportes de agua indirectas o concentradas como los flujos de agua subterránea que provienen de la infiltración de los drenes cercanos a la cuenca que pueden ser permanentes, estacionarios o efímeros.
- Los aportes de flujos laterales tanto subterráneas como de infiltración de aguas superficiales procedentes de otros acuíferos.
- Los aportes de recarga urbana como aguas de riego, fugas de abastecimiento de agua y las redes de alcantarillado.

La alimentación de los acuíferos se da principalmente por las zonas permeables como las fracturas y principalmente fallas geológicas.

La zona de estudio cuenta con fallas inversas regionales que atraviesan el poblado de San Juan y son responsables de alimentar al acuífero de la cuenca San Juan, también están los plegamientos del grupo San Jerónimo, la formación Kayra presenta pequeñas fallas inversas sinextrales con dirección NW-SE, el anticlinal de la parte Este de la cuenca, el anticlinal de la formación Quilque-Chilca y el sinclinal que se encuentra en la dirección NO-SE del poblado San Juan.

Cabe resaltar que también la conductividad hidráulica es uno de los factores importantes que intervienen en la recarga de acuíferos.

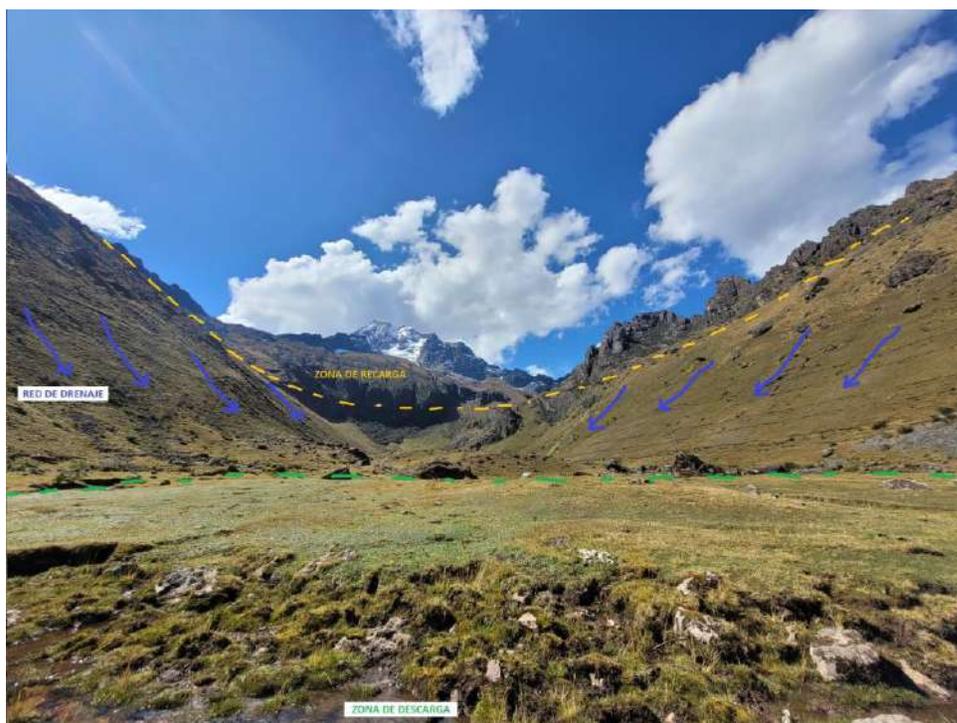
Tanto las fallas geológicas, los pliegues, fracturas y la conductividad hidráulica se analizan para determinar cuáles son las áreas de recarga aceptables o adecuadas del acuífero en una cuenca.

ZONAS DE DESCARGA

Las zonas de descarga de un acuífero están representadas por los lugares donde aflora el agua ya sea en forma de manantiales, lagos, humedales, suelos salinos o cualquier nivel de agua subterránea somera, generalmente esta zona se encuentra en la parte más baja de la cuenca, sin embargo, en la zona de estudio la encontramos también en la parte alta de la cuenca donde afloran pequeños ojos de agua. Esta zona abarca las formaciones litológicas Cuaternarias (coluvial, aluvial, fluvial y glaciar).

Fotografía 35:

Zonas de recarga y descarga de la cabecera de la cuenca San Juan

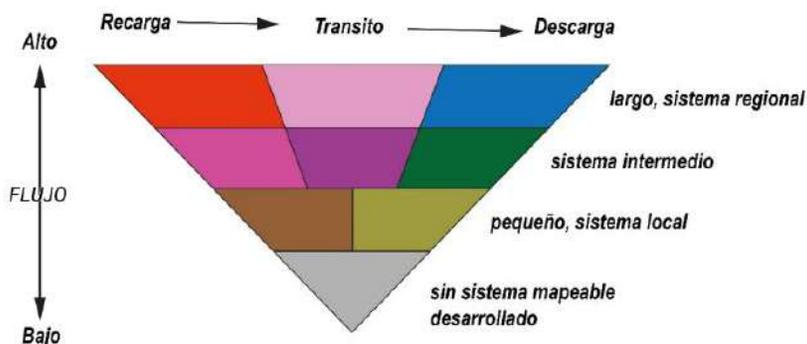


Fuente: propia

Para la elaboración del mapa de zonas de recarga y descarga de la cuenca San Juan se tomó en cuenta el esquema de colores que presenta el manual para la elaboración de mapas hidrogeológicos de la asociación internacional de hidrogeólogos, de los autores Struckmeier y Margat (1995).

FIGURA N°: 32

Esquema de colores de áreas de mapas de acuíferos

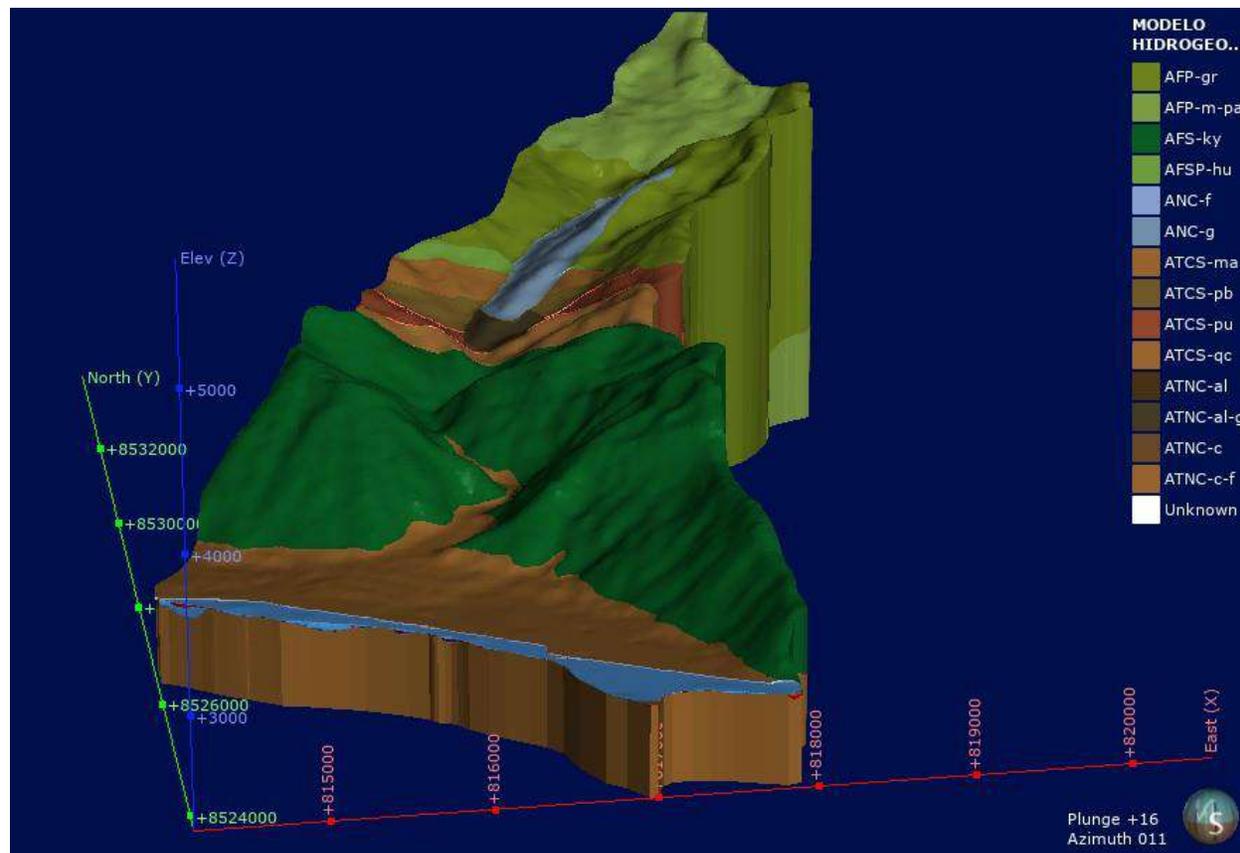


Fuente: Struckmeier W. & Margat J. (1995). *Hydrogeological Maps A guide and Standard*

Legend. International Association of Hydrogeologists. Hannover: Heise, Pag 115.

FIGURA N°: 33

Modelo Hidrogeológico en 3D de la cuenca San Juan con vista al Norte.



Fuente: Propia

CAPÍTULO IX: HIDROQUÍMICA

9.1. GENERALIDADES

La hidroquímica de la cuenca San Juan se realizó con la finalidad de analizar la calidad del agua, ya que este es un factor de gran importancia porque según este análisis se determinará si el agua es apta o no dependiendo al uso que se le dará, en este caso se analizara si es apta para el consumo humano.

Sabemos que la calidad del agua tanto superficial como subterráneo dependerá principalmente del material litológico en la cual fluye el agua, también de la velocidad de circulación de esta, esto indicará los factores hidrodinámicos con los que el agua transporta sustancias.

Los análisis químicos realizados del agua nos determinaran su conductividad eléctrica, dureza, pH, sus sales solubles totales entre otros parámetros.

9.2. MUESTREO DE CAMPO

En la cuenca San Juan se hizo la recolección de 3 muestras de agua de diferentes manantes representativos de la zona de estudio para determinar sus parámetros fisicoquímicos y químicos, tales datos se han obtenido en el laboratorio de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Fotografía 36:

Toma de muestra de agua para análisis químico





Fuente: Propia

9.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Los datos obtenidos en el ensayo de laboratorio fueron: olor, sabor, color UC, turbiedad NTU, pH, C.E., dureza, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, hierro y sales solubles totales.

Tabla 29:

Resumen del análisis químico del agua

RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANALISIS QUÍMICO DEL AGUA			
PARAMETROS	Chuyunapata	San Juan	Huachaq
Olor	Característico	Característico	Característico
Sabor	Característico	Característico	Característico
Color UC	5	5	5
Turbiedad NTU	1.9	2.2	1.14
Ph	7.7	8.1	7.3
C.E. uS/cm	153	99.1	605
Dureza (ppm) CaCO ₃	105.3	63.3	399.75
Calcio (ppm)	31.92	22.04	133
Magnesio (ppm)	5.52	2.76	13.8
Cloruros (ppm)	12.9	7.3	52.1
Sulfatos (ppm)	38.2	24.1	155.7
Bicarbonatos (ppm)	60.08	49.55	206.65
Carbonatos (ppm)	0	0	0
Hierro (ppm)	0.048	0.035	0.13
Sales solubles totales ppm	185.12	127.85	636.45

Fuente: Propia

Se comparó los datos obtenidos con los límites máximos permisibles que están en el reglamento de calidad del agua para consumo humano (anexo III) emitido por la DIGESA, para evaluar la calidad del agua e indicar si es apto o no para su consumo humano.

Análisis del manantial Chuyunapata

De la tabla que se muestra a continuación se concluye que el agua del manantial Chuyunapata es apto para consumo humano ya que todos los datos cumplen con no pasar los límites permisibles del reglamento de calidad de agua.



Tabla 30:

Tabla de comparación con los límites máximos permisibles del reglamento de calidad de agua para consumo humano para el manantial Chuyunapata

TABLA DE COMPARACIÓN CON LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DEL REGLAMENTO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO (ANEXO II)			
PARAMETROS	ANALISIS FISICOQUIMICO DEL MANANTE CHUYUNAPATA	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE DE PARAMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA	CONDICION
Turbiedad NTU	1.9	5	APTO
Ph	7.7	6.5 - 8.5	APTO
C.E. uS/cm	153	1500	APTO
Dureza (ppm) CaCO3	105.3	500	APTO
Calcio (ppm)	31.92	100	APTO
Magnesio (ppm)	5.52	30-50	APTO
Cloruros (ppm)	12.9	250	APTO
Sulfatos (ppm)	38.2	250	APTO
Bicarbonatos (ppm)	60.08	-	-
Carbonatos (ppm)	0	-	-
Hierro (ppm)	0.048	0.3	APTO
Sales solubles totales (ppm)	185.12	1000	APTO

Fuente: Propia

Análisis del manantial San Juan

De la tabla que se muestra a continuación se concluye que el agua del manantial San Juan es apto para consumo humano ya que todos los datos cumplen con no pasar los límites permisibles del reglamento de calidad de agua.

Tabla 31:

Tabla de comparación con los límites máximos permisibles del reglamento de calidad de agua para consumo humano para el manantial San Juan

TABLA DE COMPARACIÓN CON LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DEL REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO (ANEXO II)			
PARAMETROS	ANALISIS FISICOQUIMICO DEL MANANTE SAN JUAN	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE DE PARAMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA	CONDICION
Turbiedad NTU	2.2	5	APTO
Ph	8.1	6.5 - 8.5	APTO
C.E. uS/cm	99.1	1500	APTO
Dureza CaCO3 (ppm)	63.3	500	APTO



Calcio (ppm)	22.04	100	APTO
Magnesio (ppm)	2.76	30-50	APTO
Cloruros (ppm)	7.3	250	APTO
Sulfatos (ppm)	24.1	250	APTO
Bicarbonatos (ppm)	49.55	-	-
Carbonatos (ppm)	0	-	-
Hierro (ppm)	0.035	0.3	APTO
Sales solubles totales ppm	127.85	1000	APTO

Fuente: Propia

Análisis del manantial Huachaq

De la tabla que se muestra a continuación se concluye que el agua del manantial Huachaq es apto para consumo humano, la mayoría de los datos cumplen con no pasar los límites permisibles del reglamento de calidad de agua a excepción de la concentración del calcio que lo sobrepasa ligeramente.

Tabla 32:

Tabla de comparación con los límites máximos permisibles del reglamento de calidad de agua para consumo humano para el manantial Huachaq

TABLA DE COMPARACIÓN CON LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DEL REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO (ANEXO II)			
PARAMETROS	ANALISIS FISICOQUIMICO DEL MANANTE HUACHAQ	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE DE PARAMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA	CONDICION
Turbiedad NTU	1.14	5	APTO
Ph	7.3	6.5 - 8.5	APTO
C.E. uS/cm	605	1500	APTO
Dureza CaCO ₃ (ppm)	399.75	500	APTO
Calcio (ppm)	133	100	NO APTO
Magnesio (ppm)	13.8	30-50	APTO
Cloruros (ppm)	52.1	250	APTO
Sulfatos (ppm)	155.7	250	APTO
Bicarbonatos (ppm)	206.65	-	-
Carbonatos (ppm)	0	-	-
Hierro (ppm)	0.13	0.3	APTO
Sales solubles totales ppm	636.45	1000	APTO

Fuente: Propia

9.4. CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA POR IONES DOMINANTES DEL AGUA



Para la clasificación hidroquímica se analizará la concentración de iones dominantes que presenta el agua, el agua se nombrará por el catión o anión que es de mayor concentración, para ser más específicos se puede añadir el nombre de algún ion de menor concentración, el cuadro siguiente presenta el resumen de datos a analizar.

Tabla 33:

Clasificación hidroquímica por iones dominantes del agua

Ubicación	Muestra	pH	CE (Us/cm)	NTU (mg/l)	Fe (ppm)	Sales solubles (ppm)	Cationes		Aniones			Dureza CaCO3 (mg/l)
							Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cl (ppm)	HCO3 (ppm)	SO4 (ppm)	
Chuyunapata	M-01	7.7	153	1.9	0.048	185.12	31.92	5.52	12.9	60.08	38.2	105.3
San Juan	M-02	8.1	99.1	2.2	0.035	127.85	22.04	2.76	7.3	49.55	24.1	63.3
Huachaq	M-03	7.3	605	1.14	0.13	636.45	133	13.8	52.1	206.65	155.7	399.75

Fuente: Propia

Los datos obtenidos del análisis químico están expresados en partes por millón o miligramo por litro, se debe de transformar a valores expresados en equivalente litro para analizar las concentraciones de los iones, para lo cual se utilizará los siguientes datos de la siguiente tabla:

Tabla 34:

Equivalente químico de cationes y aniones

Cationes	Equivalencia
Ca ⁺⁺	20
Mg ⁺⁺	12.15
Aniones	Equivalencia
Cl ⁻	35.5
SO4 ⁻	48
HCO3	61

Fuente: Propia

Para hallar la concentración de los iones se dividirá el dato del laboratorio con la equivalencia del ion correspondiente, en la siguiente tabla se observa la composición química de los afloros en unidades absolutas.



Tabla 35:

Comparación de concentración total de cationes y aniones de cada manante

Muestra	Cationes (mEq/l)		Aniones (mEq/l)		
	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	SO ₄
M-01	1.596	0.45432099	0.3634	0.9849	0.7958
Total	2.0503		2.1441		
MD-02	1.102	0.22716049	0.2056	0.8123	0.5021
Total	1.3292		1.5200		
MD-03	6.65	1.13580247	1.4676	3.3877	3.2438
Total	7.7858		8.0991		

Fuente: Propia

Con los datos obtenidos en tabla anterior se clasificará el agua, para lo cual se analizó los cationes y aniones más abundantes, el cual se resume en la siguiente tabla:

Tabla 36:

Clasificación iónica del agua de la cuenca San Juan

Muestra	Cationes dominantes	Aniones dominantes	Familia de aguas
M-01	Ca > Mg	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Aguas cálcicas bicarbonatadas, sulfatadas magnésicas
M-02	Ca > Mg	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Aguas cálcicas bicarbonatadas, sulfatadas magnésicas
M-03	Ca > Mg	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Aguas cálcicas bicarbonatadas, sulfatadas magnésicas

Fuente: Propia

Del cuadro podemos concluir que el agua de la cuenca San Juan es dominada por iones de Calcio y Bicarbonato con sulfatos y magnesio como iones menores, por lo que obtiene el nombre de agua cálcica bicarbonatada, sulfatada magnésica.

9.5. ANALISIS DEL AGUA CON EL DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD

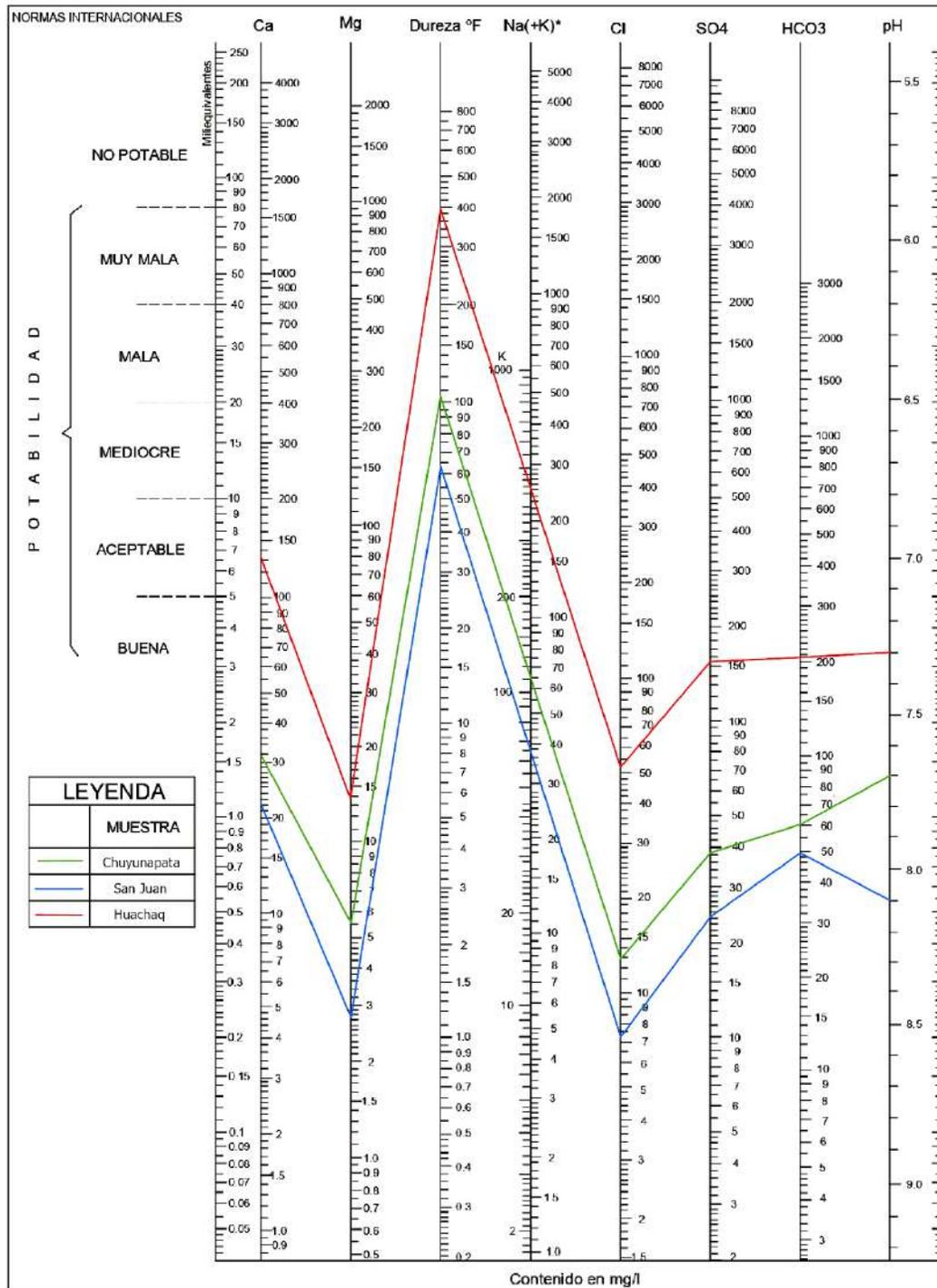
Se realizó el análisis mediante el diagrama de Sholler-Berkaloff, este se caracteriza por presentar una escala logarítmica donde se colocarán los datos de las concentraciones de iones para luego concluir si la potabilidad del agua es buena o muy mala.



FIGURA N°: 19

Diagrama logarítmico de potabilidad de agua de la cuenca San Juan

DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA DE LA CUENCA SAN JUAN



Fuente: Propia



Del diagrama podemos concluir que los tres manantes son potables, pero tienen valores de dureza que van de muy mala a mediocre, sin embargo, se pueden realizar tratamientos de corrección, especialmente en el manante Huachaq que es el que presenta altos valores de dureza.

CONCLUSIONES

1. A partir del estudio hidrogeológico se pudo determinar que el potencial hídrico de la cuenca San Juan es bueno ya que presenta 4 acuíferos fisurados representados por la formación Kayra, Pachatusan, Huancané y el macizo de Urubamba, por lo que se puede explotar agua subterránea mediante pozos tubulares.
2. A partir del estudio geomorfológico, se identificaron diversas geformas que favorecen a la formación de acuíferos, como por ejemplo valles o piedemontes delimitados por montañas de rocas intrusivas, vulcano-sedimentarias y sedimentarias con pendientes empinadas a moderadamente empinadas.
3. En la geología local se han identificado 13 formaciones las cuales son: Kayra, Quilque, Chilca, Paucarbamba, Maras, Puquín, Huancané, Pachatusan, granito del macizo Urubamba, depósitos cuaternarios como aluviales, fluviales, coluviales y glaciares.
4. Según el análisis estructural de la cuenca San Juan se han identificado estructuras de pliegues como anticlinales, el primer anticlinal se extiende desde el cerro Condortiana a Pumahuachana con dirección NE-SW generado por comprensión de las capas rojas y el grupo San Jerónimo, el segundo anticlinal se encuentra al este de la comunidad San Juan en las capas rojas y tiene una dirección W-E , también está el sinclinal de la formación Quilque que se encuentra al Este de la comunidad San Juan que presenta dirección NW SE; además se ha identificado fallas inversas sinextrales que tienen una dirección NW SE al norte y a sur de la población San Juan.



5. Con los ensayos del sondeo eléctrico vertical por el arreglo de Schlumberger se determinó 5 litologías diferentes en donde 1 de ellos se le puede considerar acuífero como tal, con resistividades que varían entre 130-260 Ohmio-m, que según la interpretación geológica corresponde a areniscas saturadas de la formación Kayra con potencia mayor a 42 metros.
6. Se identificó 13 fuentes de aguas de los cuales 4 son superficiales y 9 son de aguas subterráneas que afloran como manantes y humedales, donde los caudales varían desde 0.126 litros por segundo hasta 336 litros por segundo, esto refleja que las fuentes hídricas superficiales son escasas a diferencia de las subterráneas.
7. En la hidrogeología se concluye que se ha logrado identificar 2 tipos de materiales hidrogeológicos los cuales son los acuíferos y acuitardos:
 - a. Los acuíferos se han clasificado en dos tipos: acuíferos fisurados que pertenecen a la formación Kayra y Huancané que son de origen sedimentario, también están la formación Pachatusan y el macizo Urubamba que son de origen ígneo; los acuíferos no consolidados identificados pertenecen a los depósitos fluviales y morrénicos.
 - b. Los acuitardos se han clasificado en dos tipos: acuitardos no consolidados que pertenecen a los depósitos aluviales, coluviales y los acuitardos sedimentarios pertenecen a las formaciones Quilque, Chilca, Maras, Puquín y Paucarbamba.
8. Se realizó la clasificación hidroquímica por iones dominantes del agua y se determinó que el agua de la cuenca es cálcica bicarbonatada sulfatada magnésica, además se realizó el análisis hidroquímico por el diagrama de potabilidad de Sholler-Berkaloff y se determinó que las aguas de la cuenca San Juan son aptas para el consumo humano ya que los parámetros analizados están dentro de los límites permisibles según la OMS.
9. En la zona de estudio encontramos las zonas de recarga que se encuentran en la parte más alta de la cuenca abarcando las montañas en las formaciones litológicas del macizo



de Urubamba, la formación Pachatusan, Huancané, Paucarbamba, Maras, Puquín, Quilque-Chilca y Kayra, y las zonas de descarga se encuentran en la zona más baja de cuenca, esta zona abarca las formaciones litológicas Cuaternarias (coluvial, aluvial y fluvial), también la encontramos en la zona del valle glaciar donde se acumula el agua.

10. Hidrológicamente la cuenca San Juan solo tiene un río principal con un caudal de 0.336 m³/s, tiene un área de 23.86 km² con un perímetro 26.11 km, también se codificó según el sistema de codificación de Phasteter que dio una codificación de 49949713, la cuenca presenta una precipitación media anual de 527.17 mm, una evapotranspiración de 693.23 mm con un escurrimiento superficial de 100.71 mm y una infiltración de 44.41 mm al año con direcciones de flujo por toda la cuenca de San Juan hacia el río Vilcanota, además se hizo un balance hídrico entre los aportes y pérdidas de agua en toda la cuenca hidrogeológica este es de -241.78 mm por año.
11. Se realizó el modelamiento geofísico donde se determinó que los cuerpos de agua en la zona de estudio tienen una forma irregular, también se elaboró el modelamiento hidrogeológico de toda la cuenca donde se puede visualizar la distribución de los acuíferos y acuitardos, además se realizó el modelamiento geológico donde se puede observar el desplazamiento de las unidades geológicas que ocasionan las fallas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda cambiar las plantaciones de eucalipto por plantas nativas como árboles de Queña y Chachacomo, principalmente en las zonas de recarga de la cuenca.
- Se recomienda realizar pozos de exploración hidrogeológica para establecer la geometría de los acuíferos, obtener con mayor exactitud el nivel piezométrico y el caudal de explotable de los pozos.



- Se recomienda realizar y ejecutar un proyecto de servicios básicos de desagüe y alcantarillado en la comunidad de San Juan para frenar la infiltración de aguas residuales que contaminan el agua de la cuenca tanto superficial como subterránea.
- Se recomienda realizar una prospección geofísica que tenga mayor alcance en la profundidad para tener información más detallada sobre los contactos de unidades geológicas al momento de realizar los pozos de exploración hidrogeológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INGEMMET. (2015). Estudio Hidrogeológico de la Microcuenca de Lauricocha, Distrito de San Miguel de Cauri, Provincia Lauricocha, Región Huánuco.
- Rossmery Apaza Rojas Rossmery y Oscar Huamán Quispe (2019), Estudio Hidrogeológico con fines de determinar el potencial hídrico en la Cuenca de Cachimayo (Tesis para optar Título), Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Melissa Gamarra Loayza y Carlos Pantigozo Loayza (2014), Evaluación Hidrogeológica del distrito de Huayllabamba (Tesis para optar Título), Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Wilner Bandera Pérez y Vidal Antoni Barrientos Cruz (2019), Estudio Hidrogeológico para el diseño de métodos de recarga de acuíferos en la microcuenca de Unuhuaycco, Distrito Oropesa, Provincia Quispicanchi-Cusco-2019, (Tesis para optar Título), Universidad Nacional de san Antonio Abad del Cusco.
- Carlotto et al., 1996 Carlotto, V.; Gil W.; Cárdenas J. & Chávez, R. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas: 27-r y 27-s. INGEMMET, Serie A: Boletín, Carta Geológica Nacional. Fossen H. (2010). Structural Geology. Cambridge University Press.
- Benavente C., Delgado F., Maquerhua E., Audin L., Pinto W., (2013). Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco (pg.59). Ingemmet Huamán D., Aspectos sismo tectónicos



del sismo del cuzco del 5 de abril de 1986. (1987). IGP.

<http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc40/doc40-contenido.pdf>

- Quispe, G. C. (2019). Cálculo de la precipitación media mediante el software Hydroaccess. uDocz. <https://www.udocz.com/apuntes/40563/calculo-de-la-precipitacion-media-mediante-el-software-hydraccess>
- López A., Loke M., Fanton G. & Cara E. (1999), "Técnicas prácticas para investigación de resistividad en dos y tres dimensiones (tomografía eléctrica 2D y 3D)". Instituto Geofísico.
- Reynolds, J. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. (2nd Edition). John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO198SQ, UK.
- Loke, M.H. (2021), "Bidimensional and Tridimensional Electrical Imaging Surveys" Editado por el propio autor.
- Orellana E. 1972. Prospección geoelectrica de corriente continua (2nd Edición). Editorial Paraninfo. Madrid.
- Knödel K., G. Lange, H.-J. Voight. Environmental Geology Handbook of Field Methods and Case Studies. (2007). Springer (UNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE). Germany.
- INRENA. (2007). Inventario de fuentes de aguas superficiales del rio Vilcanota Ámbito de la ATDR-Cusco. ANA. https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3498/ANA0002110_2.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Custodio, E. & Llamas, M. (1983) - Hidrología subterránea. 2a. ed. Barcelona: Omega, 2da edición.
- Peña, F.; Sánchez, M. & Pari, W. (2010). Hidrogeología de la cuenca del río Ica. INGEMMET. Boletín. Serie H: Hidrogeología, 3.



- Struckmeier W. & Margat J. (1995). Hydrogeological Maps A guide and Standard Legend. International Association of Hydrogeologists. Hannover: Heise.
- Carpio, J. & Peña, F. (2020). Hidrogeología de la cuenca del río Tambo (1318) regiones Arequipa, Moquegua y Puno. INGEMMET, Boletín, Serie H.
- Martínez Alfaro, P., Martínez Santos P., Castaño Castaño S., (2005). Fundamentos de Hidrogeología. Ediciones Multi prensa. España
- Sánchez F. (2011). Hidroquímica. Conceptos fundamentales. Departamento geología. Universidad de Salamanca. Pag 4.
- Sánchez F. (2011). Medidas puntuales de permeabilidad (“Slug Tests”). Departamento geología. Universidad de Salamanca. Pag 2.
- Collazo M., Montañó J., 2012. Manual de agua subterránea. Ministerio de ganadería agricultura y pesca. Uruguay.
- Fernando R. 2018. Apuntes sobre Captación de Aguas Subterráneas. Maestría en ciencias Hídricas. Proyecto de investigación y desarrollo 05/2011 “Comportamiento y evolución espacio-temporal del arsénico en aguas subterráneas de la República Argentina”. UNLPam.
- Absalón Vásquez V., Abel Mejía M., Jorge Faustino M., Ruben Terán A., Issaak Vásquez R., Jorge Díaz R., Cristian Vásquez R., Andrés Castro A., Manuel Tapia M., Julio Alcántara R. 2016. Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas. Universidad Nacional Agraria La Molina Editorial-UNALM.



ANEXOS

ANEXO A: TABLAS DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

ANEXO B: TABLAS DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

ANEXO C: ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS SUBTERRANEAS

ANEXO D: MAPAS Y SECCIONES



ANEXO A: TABLAS DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”									
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN									
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE									
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	07/06/2023		
Sector	Cuyoc	1	Este	817774	metros				
Distrito	Yucay		Norte	8531243	metros				
Provincia	Urubamba		Altitud	4087	m.s.n.m.				
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan					
Prof. de Ensayo	20	centímetros	Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros				
Longitud total de la tubería	120	centímetros	Diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros				
CODIGO	ELV-01	Observaciones	Se realizó el ensayo en una morrena						
Litología	Deposito glaciar								
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante			Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)			cm/s	m/día
1	100	20.2	240	20	5.08	0.001420	1.22656		
2	100	20.3	240	20	5.08	0.001415	1.22278		
3	100	23.2	240	20	5.08	0.001297	1.12038		
4	100	25.6	240	20	5.08	0.001209	1.04489		
5	100	25.8	240	20	5.08	0.001202	1.03892		
6	100	25.9	240	20	5.08	0.001199	1.03595		
7	100	26.8	240	20	5.08	0.001169	1.00976		
8	100	30.1	240	20	5.08	0.001066	0.92071		
9	100	30.5	240	20	5.08	0.001054	0.91059		
10	100	30.8	240	20	5.08	0.001045	0.90308		
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuífero no consolidado	Promedio (k)	0.012076	1.04336		



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”									
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN									
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE									
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023		
Sector	Molino	2	Este	816693	metros				
Distrito	Yucay		Norte	8527420	metros				
Provincia	Urubamba		Altitud	3109	m.s.n.m.				
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan					
Prof. de Ensayo	20		centímetros	Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros			
Longitud total de la tubería	120	centímetros	Diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros				
CODIGO	ELV-02	Observaciones	Gravas en matriz limo arenosa						
Litología	Deposito Fluvial								
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)			
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día		
1	100	10	240	20	5.08	0.002044	1.76573		
2	100	15	240	20	5.08	0.001684	1.45480		
3	100	20	240	20	5.08	0.001428	1.23419		
4	100	23	240	20	5.08	0.001304	1.12702		
5	100	25	240	20	5.08	0.001230	1.06308		
6	100	30	240	20	5.08	0.001069	0.92326		
7	100	30.5	240	20	5.08	0.001054	0.91059		
8	100	32	240	20	5.08	0.001011	0.87377		
9	100	33	240	20	5.08	0.000984	0.85017		
10	100	35	240	20	5.08	0.000932	0.80505		
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuífero no consolidado	Promedio (k)	0.012740	1.10077		



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”							
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN							
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE							
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023
Sector	Molino	3	Este	816722	metros		
Distrito	Yucay		Norte	8527723	metros		
Provincia	Urubamba		Altitud	3157	m.s.n.m.		
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan			
Prof. de Ensayo	20	centímetros	Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros		
Longitud total de la tubería	120	centímetros	Diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros		
CODIGO	ELV-03	Observaciones	Gravas en matriz limo arenosa y areno arcillosa				
Litología	Depósito coluvial fluvial						
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/dia
1	100	98.21	240	20	5.08	0.000016	0.01385
2	100	98.24	240	20	5.08	0.000016	0.01362
3	100	98.25	240	20	5.08	0.000016	0.01354
4	100	98.56	240	20	5.08	0.000013	0.01112
5	100	98.65	240	20	5.08	0.000012	0.01042
6	100	98.36	240	20	5.08	0.000015	0.01268
7	100	98.38	240	20	5.08	0.000014	0.01252
8	100	98.39	240	20	5.08	0.000014	0.01245
9	100	98.42	240	20	5.08	0.000014	0.01221
10	100	98.46	240	20	5.08	0.000014	0.01190
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuitardo no consolidado	Promedio (k)	0.000144	0.01243



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”							
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN							
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE							
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023
Sector	Molino	4	Este	816706	metros		
Distrito	Yucay		Norte	8527732	metros		
Provincia	Urubamba		Altitud	3159	m.s.n.m.		
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan			
Prof. de Ensayo	20		centímetros	Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros	
Longitud total de la tubería	120	centímetros	Diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros		
CODIGO	ELV-04	Observaciones	Gravas en matriz limo arcillosa				
Litología	Deposito coluvial						
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t (segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/dia
1	100	98.65	240	20	5.08	0.000012	0.01042
2	100	98.63	240	20	5.08	0.000012	0.01058
3	100	98.67	240	20	5.08	0.000012	0.01027
4	100	98.69	240	20	5.08	0.000012	0.01011
5	100	98.72	240	20	5.08	0.000011	0.00988
6	100	98.74	240	20	5.08	0.000011	0.00972
7	100	98.75	240	20	5.08	0.000011	0.00965
8	100	98.76	240	20	5.08	0.000011	0.00957
9	100	98.78	240	20	5.08	0.000011	0.00941
10	100	98.81	240	20	5.08	0.000011	0.00918
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuitardo no consolidado	Promedio (k)	0.000114	0.00988



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”							
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN							
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE							
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023
Sector	San Juan	5	Este	817277	metros		
Distrito	Yucay		Norte	8530568	metros		
Provincia	Urubamba		Altitud	3885	m.s.n.m.		
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan			
Prof. de Ensayo	20	centímetros	Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros		
Longitud total de la tubería	120	centímetros	Diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros		
CODIGO	ELV-05	Observaciones	Gravas en matriz limo arcillosa				
Litología	Depósito aluvial morrénico						
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día
1	100	96.25	240	20	5.08	0.000034	0.02931
2	100	96.28	240	20	5.08	0.000034	0.02907
3	100	96.34	240	20	5.08	0.000033	0.02859
4	100	96.36	240	20	5.08	0.000033	0.02843
5	100	96.38	240	20	5.08	0.000033	0.02827
6	100	96.42	240	20	5.08	0.000032	0.02796
7	100	96.48	240	20	5.08	0.000032	0.02748
8	100	96.51	240	20	5.08	0.000032	0.02724
9	100	96.53	240	20	5.08	0.000031	0.02708
10	100	96.6	240	20	5.08	0.000031	0.02653
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuitardo no consolidado	Promedio (k)	0.000324	0.02800



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”							
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN							
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE							
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023
Sector	San Juan	6	Este	816529	metros		
Distrito	Yucay		Norte	8527349	metros		
Provincia	Urubamba		Altitud	3055	m.s.n.m.		
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan			
Prof. de Ensayo	20		centímetros	Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08		
Longitud total de la tubería	120	centímetros	Diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros		
CODIGO	ELV-06	Observaciones	Gravas en matriz limo arcillosa				
Litología	Deposito aluvial						
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día
1	100	99.25	240	20	5.08	0.000007	0.00577
2	100	99.27	240	20	5.08	0.000007	0.00562
3	100	99.31	240	20	5.08	0.000006	0.00531
4	100	99.36	240	20	5.08	0.000006	0.00492
5	100	99.38	240	20	5.08	0.000006	0.00477
6	100	99.42	240	20	5.08	0.000005	0.00446
7	100	99.48	240	20	5.08	0.000005	0.00400
8	100	99.52	240	20	5.08	0.000004	0.00369
9	100	99.56	240	20	5.08	0.000004	0.00338
10	100	99.62	240	20	5.08	0.000003	0.00292
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuitardo no consolidado	Promedio (k)	0.000052	0.00448



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”								
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN								
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE								
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023	
Sector	San Juan	7	Este	816380	metros			
Distrito	Yucay		Norte	8528230	metros			
Provincia	Urubamba		Altitud	3288	m.s.n.m.			
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan				
Prof. de Ensayo	20		centímetros	diámetro de la zona filtrante (d)	5.08		centímetros	
Longitud total de la tubería	120	centímetros	diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros			
CODIGO	ELV-07	Observaciones	Arenisca con intercalación de lutita					
Litología	Formación Kayra							
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)		
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día	
1	100	30.8	240	20	5.08	0.001045	0.90308	
2	100	30.9	240	20	5.08	0.001042	0.90060	
3	100	31.2	240	20	5.08	0.001034	0.89319	
4	100	31.5	240	20	5.08	0.001025	0.88585	
5	100	31.7	240	20	5.08	0.001020	0.88099	
6	100	32.5	240	20	5.08	0.000998	0.86188	
7	100	33.9	240	20	5.08	0.000960	0.82954	
8	100	34.4	240	20	5.08	0.000947	0.81831	
9	100	34.9	240	20	5.08	0.000934	0.80725	
10	100	35.1	240	20	5.08	0.000929	0.80287	
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica	Acuífero fisurado sedimentario	Promedio (k)	0.009935	0.85836		



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”								
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN								
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE								
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023	
Sector	San Juan		8	Este	816719	metros		
Distrito	Yucay	Norte		8529002	metros			
Provincia	Urubamba	Altitud		3466	m.s.n.m.			
Departamento	Cusco	Cuenca		San Juan				
Prof. de Ensayo	20	centímetros	Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros			
Longitud total de la tubería	120	centímetros	diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros			
CODIGO	ELV-08	Observaciones	Intercalación de lutitas y arenisca fina					
Litología	Formación Quilque-Chilca							
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)		
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día	
1	100	99.15	240	20	5.08	0.000008	0.00655	
2	100	99.18	240	20	5.08	0.000007	0.00631	
3	100	99.21	240	20	5.08	0.000007	0.00608	
4	100	99.22	240	20	5.08	0.000007	0.00600	
5	100	99.26	240	20	5.08	0.000007	0.00570	
6	100	99.27	240	20	5.08	0.000007	0.00562	
7	100	99.28	240	20	5.08	0.000006	0.00554	
8	100	99.29	240	20	5.08	0.000006	0.00546	
9	100	99.31	240	20	5.08	0.000006	0.00531	
10	100	99.32	240	20	5.08	0.000006	0.00523	
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuitardo sedimentario	Promedio (k)	0.000067	0.00578	



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”								
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN								
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE								
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023	
Sector	San Juan		9	Este	816709	metros		
Distrito	Yucay	Norte		8529659	metros			
Provincia	Urubamba	Altitud		3645	m.s.n.m.			
Departamento	Cusco	Cuenca		San Juan				
Prof. de Ensayo	20	centímetros		Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros		
Longitud total de la tubería	120	centímetros	Diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros			
CODIGO	ELV-09	Observaciones	Lutitas cálcicas con intercalación de margas					
Litología	Formación Puquín							
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)		
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día	
1	100	99.23	240	20	5.08	0.000007	0.00593	
2	100	99.25	240	20	5.08	0.000007	0.00577	
3	100	99.27	240	20	5.08	0.000007	0.00562	
4	100	99.35	240	20	5.08	0.000006	0.00500	
5	100	99.38	240	20	5.08	0.000006	0.00477	
6	100	99.41	240	20	5.08	0.000005	0.00454	
7	100	99.42	240	20	5.08	0.000005	0.00446	
8	100	99.43	240	20	5.08	0.000005	0.00438	
9	100	99.45	240	20	5.08	0.000005	0.00423	
10	100	99.47	240	20	5.08	0.000005	0.00408	
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuitardo sedimentario	Promedio (k)	0.000056	0.00488	



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”							
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN							
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE							
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023
Sector	San Juan	10	Este	817458	metros		
Distrito	Yucay		Norte	8529781	metros		
Provincia	Urubamba		Altitud	3771	m.s.n.m.		
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan			
Prof. de Ensayo	20		centímetros	Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros	
Longitud total de la tubería	120	centímetros	Diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros		
CODIGO	ELV-10	Observaciones	Lutitas cálcicas con intercalación de yesos				
Litología	Formación Maras						
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día
1	100	99.42	240	20	5.08	0.000005	0.00446
2	100	99.45	240	20	5.08	0.000005	0.00423
3	100	99.48	240	20	5.08	0.000005	0.00400
4	100	99.49	240	20	5.08	0.000005	0.00392
5	100	99.51	240	20	5.08	0.000004	0.00377
6	100	99.52	240	20	5.08	0.000004	0.00369
7	100	99.53	240	20	5.08	0.000004	0.00361
8	100	99.57	240	20	5.08	0.000004	0.00330
9	100	99.61	240	20	5.08	0.000003	0.00300
10	100	99.62	240	20	5.08	0.000003	0.00292
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuitardo sedimentario	Promedio (k)	0.000043	0.00369



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”							
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN							
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE							
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023
Sector	San Juan	11	Este	816745	metros		
Distrito	Yucay		Norte	8530136	metros		
Provincia	Urubamba		Altitud	3751	m.s.n.m.		
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan			
Prof. de Ensayo	20		centímetros	diámetro de la zona filtrante (d)	5.08		
Longitud total de la tubería	120	centímetros	diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros		
CODIGO	ELV-11	Observaciones	Lutitas y areniscas calcáreas				
Litología	Formación Paucarbamba						
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	Diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día
1	100	99.51	240	20	5.08	0.000004	0.00377
2	100	99.54	240	20	5.08	0.000004	0.00354
3	100	99.55	240	20	5.08	0.000004	0.00346
4	100	99.56	240	20	5.08	0.000004	0.00338
5	100	99.58	240	20	5.08	0.000004	0.00323
6	100	99.58	240	20	5.08	0.000004	0.00323
7	100	99.61	240	20	5.08	0.000003	0.00300
8	100	99.64	240	20	5.08	0.000003	0.00277
9	100	99.65	240	20	5.08	0.000003	0.00269
10	100	99.68	240	20	5.08	0.000003	0.00246
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica	Acuitardo sedimentario	Promedio (k)	0.000036 0.00315		



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”							
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN							
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE							
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023
Sector	San Juan	12	Este	816951	metros		
Distrito	Yucay		Norte	8530264	metros		
Provincia	Urubamba		Altitud	3772	m.s.n.m.		
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan			
Prof. de Ensayo	20	centímetros	Diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros		
Longitud total de la tubería	120	centímetros	diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros		
CODIGO	ELV-12	Observaciones	Areniscas y Lutitas				
Litología	Formación Huancañé						
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día
1	100	92.25	240	20	5.08	0.000072	0.06186
2	100	92.26	240	20	5.08	0.000072	0.06178
3	100	92.28	240	20	5.08	0.000071	0.06161
4	100	92.31	240	20	5.08	0.000071	0.06136
5	100	92.34	240	20	5.08	0.000071	0.06111
6	100	92.36	240	20	5.08	0.000071	0.06095
7	100	92.38	240	20	5.08	0.000070	0.06078
8	100	92.42	240	20	5.08	0.000070	0.06045
9	100	92.45	240	20	5.08	0.000070	0.06020
10	100	92.28	240	20	5.08	0.000071	0.06161
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica	Acuífero fisurado pobre sedimentario		Promedio (k)	0.000708	0.06117



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”							
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN							
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE							
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023
Sector	San Juan	13	Este	818285	metros		
Distrito	Yucay		Norte	8531691	metros		
Provincia	Urubamba		Altitud	4158	m.s.n.m.		
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan			
Prof. de Ensayo	20	centímetros	diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros		
Longitud total de la tubería	120	centímetros	diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros		
CODIGO	ELV-13	Observaciones	Rocas fracturadas				
Litología	Formación Pachatusan						
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día
1	100	97.25	240	20	5.08	0.000025	0.02138
2	100	97.26	240	20	5.08	0.000025	0.02130
3	100	97.28	240	20	5.08	0.000024	0.02115
4	100	97.31	240	20	5.08	0.000024	0.02091
5	100	97.34	240	20	5.08	0.000024	0.02067
6	100	97.36	240	20	5.08	0.000024	0.02052
7	100	97.38	240	20	5.08	0.000024	0.02036
8	100	97.42	240	20	5.08	0.000023	0.02004
9	100	97.45	240	20	5.08	0.000023	0.01981
10	100	97.28	240	20	5.08	0.000024	0.02115
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuífero fisurado pobre	Promedio (k)	0.000240	0.02073



“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021”							
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CUENCA SAN JUAN							
ENSAYO LEFRANC CARGA VARIABLE							
UBICACIÓN POLITICA		N° ENSAYO	UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM)			Fecha	29/10/2023
Sector	San Juan	14	Este	818079	metros		
Distrito	Yucay		Norte	8532267	metros		
Provincia	Urubamba		Altitud	4385	m.s.n.m.		
Departamento	Cusco		Cuenca	San Juan			
Prof. de Ensayo	20	centímetros	diámetro de la zona filtrante (d)	5.08	centímetros		
Longitud total de la tubería	120	centímetros	diámetro de la entubación (de)	5.08	centímetros		
CODIGO	ELV-14	Observaciones	Rocas fracturadas				
Litología	Granito						
N° PRUEBA	Altura al inicio del ensayo	Altura al final del ensayo	Tiempo entre alturas	Longitud de la Zona Filtrante	diámetro de la zona Filtrante	Conductividad Hidráulica (K)	
	h1(centímetros)	h2(centímetros)	t(segundos)	L(centímetros)	d(centímetros)	cm/s	m/día
1	100	98.11	240	20	5.08	0.000017	0.01463
2	100	98.12	240	20	5.08	0.000017	0.01455
3	100	98.15	240	20	5.08	0.000017	0.01432
4	100	98.18	240	20	5.08	0.000016	0.01409
5	100	98.24	240	20	5.08	0.000016	0.01362
6	100	98.26	240	20	5.08	0.000016	0.01346
7	100	98.29	240	20	5.08	0.000015	0.01323
8	100	98.32	240	20	5.08	0.000015	0.01299
9	100	98.36	240	20	5.08	0.000015	0.01268
10	100	98.41	240	20	5.08	0.000014	0.01229
Calificación	Permeable	Clasificación Hidrogeológica		Acuífero fisurado pobre	Promedio (k)	0.000157	0.01359



ANEXO B: TABLAS DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	07/06/2023	Hora	11:00		
Tipo de fuente	Superficial	Código	SP1		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Cuyoq 2	Este	817658		
Distrito	Yucay	Norte	8531109		
Provincia	Urubamba	Altura	4057		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
9.5	8.1	90	40	0.290	Consumo Humano y agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en un ambiente glaciár					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	07/06/2023	Hora	11:40		
Tipo de fuente	Superficial	Código	SP2		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Cuyoq 1	Este	817650		
Distrito	Yucay	Norte	8531089		
Provincia	Urubamba	Altura	4057		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
11	7.6	60	80	1.442	Consumo Humano y agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en un ambiente glaciár					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	07/06/2023	Hora	12:45		
Tipo de fuente	Superficial	Código	SP3		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	San Juan	Este	817663		
Distrito	Yucay	Norte	8531146		
Provincia	Urubamba	Altura	4057		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
14.5	8	70	70	212.400	Consumo Humano y agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en un ambiente glaciario, cerca a la cabecera de la cuenca					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	07/06/2023	Hora	05:23		
Tipo de fuente	Superficial	Código	SP-4		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Unuraqui	Este	816055		
Distrito	Yucay	Norte	8526878		
Provincia	Urubamba	Altura	2955		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
15.8	8	75	80	336.000	Consumo Humano y agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en la parte media de la cuenca del río principal de la cuenca					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	07/06/2023	Hora	12:10		
Tipo de fuente	Subterráneo	Código	SB1		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	San Juan 1	Este	816708		
Distrito	Yucay	Norte	8529944		
Provincia	Urubamba	Altura	3726		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
14.5	7.9	320	160	0.324	Agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en un ambiente glaciár					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	07/06/2023	Hora	12:30		
Tipo de fuente	Subterráneo	Código	SB-2		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	San Juan 2	Este	816612		
Distrito	Yucay	Norte	8529728		
Provincia	Urubamba	Altura	3750		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
14.9	7.8	340	180	0.196	Agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en un ambiente glaciario					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	07/06/2023	Hora	17:06		
Tipo de fuente	Subterráneo	Código	SB-3		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Morayoq	Este	816629		
Distrito	Yucay	Norte	8525543		
Provincia	Urubamba	Altura	2861		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
15.6	7.9	430	210	77.500	Agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en la parte baja de la cuenca donde aflora el manante					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	07/06/2023	Hora	15:56		
Tipo de fuente	Subterráneo	Código	SB4		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Chuyunapata	Este	817871		
Distrito	Yucay	Norte	8529537		
Provincia	Urubamba	Altura	3978		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
15.2	7.9	300	140	0.467	Agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en un ambiente glaciár					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	07/06/2023	Hora	17:52		
Tipo de fuente	Subterráneo (manante perenne)	Código	SB5		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Huachaq	Este	815062		
Distrito	Yucay	Norte	8526909		
Provincia	Urubamba	Altura	2868		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
16.4	7.6	510	250	87.610	Agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en la parte baja de la cuenca donde aflora el manante					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	08/06/2023	Hora	10:11		
Tipo de fuente	Subterráneo	Código	SB-6		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Huayllapampa	Este	816552		
Distrito	Yucay	Norte	8525715		
Provincia	Urubamba	Altura	2860		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
14.8	7.6	500	250	0.192	Agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en la parte baja de la cuenca donde aflora el manante					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	08/06/2023	Hora	12:15		
Tipo de fuente	Subterráneo	Código	SB-7		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Miskapampa	Este	815903		
Distrito	Yucay	Norte	8525712		
Provincia	Urubamba	Altura	2861		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
15.8	7.8	500	250	14.230	Agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en la parte baja de la cuenca donde aflora el manante					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	08/06/2023	Hora	09:21		
Tipo de fuente	Subterráneo	Código	SB-8		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Mantoroccocha	Este	817117		
Distrito	Yucay	Norte	8524898		
Provincia	Urubamba	Altura	2863		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
15.3	7.6	480	230	0.126	Agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en la parte baja de la cuenca donde aflora el manante					
Fotografías					
					



FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL					
Inventariado por	Bach. Yanet C. Melgarejo Quispe Ynga y Bach. Justino Huaman Quispe				
Fecha	08/06/2023	Hora	08:48		
Tipo de fuente	Subterráneo (manante perenne)	Código	SB-9		
UBICACIÓN					
Ubicación política			Coordenadas UTM		
Lugar	Soqospuqullo	Este	816812		
Distrito	Yucay	Norte	8525527		
Provincia	Urubamba	Altura	2859		
Departamento	Cusco	Zona	18 S		
Region	Cusco	Datum	WGS 84		
REGISTRO DE CAMPO					
Parámetros fisicoquímicos					
T (°C)	Ph	Conductividad eléctrica (µS/cm)	TDS (mg/l)	Caudal (l/s)	Uso
14.9	7.6	430	190	58.240	Agrícola
Parámetros organolépticos					
Color		Olor		Sabor	
Incoloro		Inoloro		Insaboro	
Observaciones					
Los datos de la muestra se tomaron en la parte baja de la cuenca donde aflora el manante					
Fotografías					
					



ANEXO C: ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0250-23-LAQ

SOLICITANTE : MELGAREJO QUISPE INGA YANET CAROLINA
TESIS : EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY-URUBAMBA-CUSCO 2021.
MUESTRA : AGUA
FUENTE : MANANTIAL CHUYUNAPATA
UBICACIÓN : E817871 N8529538 ZONA 18L
FECHA : C/09/06/2023

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

Parámetro	Valor
Olor	Característico
Sabor	Característico
Color UC	5
Turbiedad NTU	1,90
pH	7,70
C.E. uS/cm	153,00
Dureza ppm CaCO ₃	105,30
Calcio ppm	31,92
Magnesio ppm	5,52
Cloruros ppm	12,90
Sulfatos ppm	38,20
Bicarbonatos ppm	60,08
Carbonatos ppm	0
Hierro ppm	0,048
Sales Solubles totales ppm	185,12

ANÁLISIS DEL AGUA, JEAN RODIER, 9 EDICION

Cusco, 19 de Junio 2023

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Unidad de Prestación de Servicios Académicos

Melgarejo Herrera Yanet Carolina
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0249-23-LAQ

SOLICITANTE : MELGAREJO QUISPE INGA YANET CAROLINA

TESIS : EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY-URUBAMBA-CUSCO 2021.

MUESTRA : AGUA

FUENTE : MANANTIAL SAN JUAN

UBICACIÓN : E817650 N8531089 ZONA 18L

FECHA : C/09/06/2023

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

Parámetro	Valor
Olor	Característico
Sabor	Característico
Color UC	5
Turbiedad NTU	2,20
pH	8,10
C.E. uS/cm	99,10
Dureza ppm CaCO ₃	63,30
Calcio ppm	22,04
Magnesio ppm	2,76
Cloruros ppm	7,30
Sulfatos ppm	24,10
Bicarbonatos ppm	49,55
Carbonatos ppm	0
Hierro ppm	0,035
Sales Solubles totales ppm	127,85

ANÁLISIS DEL AGUA, JEAN RODIER, 9 EDICION

Cusco, 19 de Junio 2023



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Unidad de Prestación de Servicios de Análisis

Melquiades Herrera Arístida
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0251-23-LAQ

SOLICITANTE : MELGAREJO QUISPE INGA YANET CAROLINA
TESIS : EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY-URUBAMBA-CUSCO 2021.
MUESTRA : AGUA
FUENTE : MANANTIAL HUACHAQ
UBICACIÓN : E815062 N8526912 ZONA 18L
FECHA : C/09/06/2023

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

	Característico
Olor	Característico
Sabor	Característico
Color UC	5
Turbiedad NTU	1,14
pH	7,30
C.E. uS/cm	605,00
Dureza ppm CaCO ₃	399,75
Calcio ppm	133,00
Magnesio ppm	13,80
Cloruros ppm	52,10
Sulfatos ppm	155,70
Bicarbonatos ppm	206,65
Carbonatos ppm	0
Hierro ppm	0,13
Sales Solubles totales ppm	636,45

ANÁLISIS DEL AGUA, JEAN RODIER, 9 EDICION

Cusco, 19 de Junio 2023

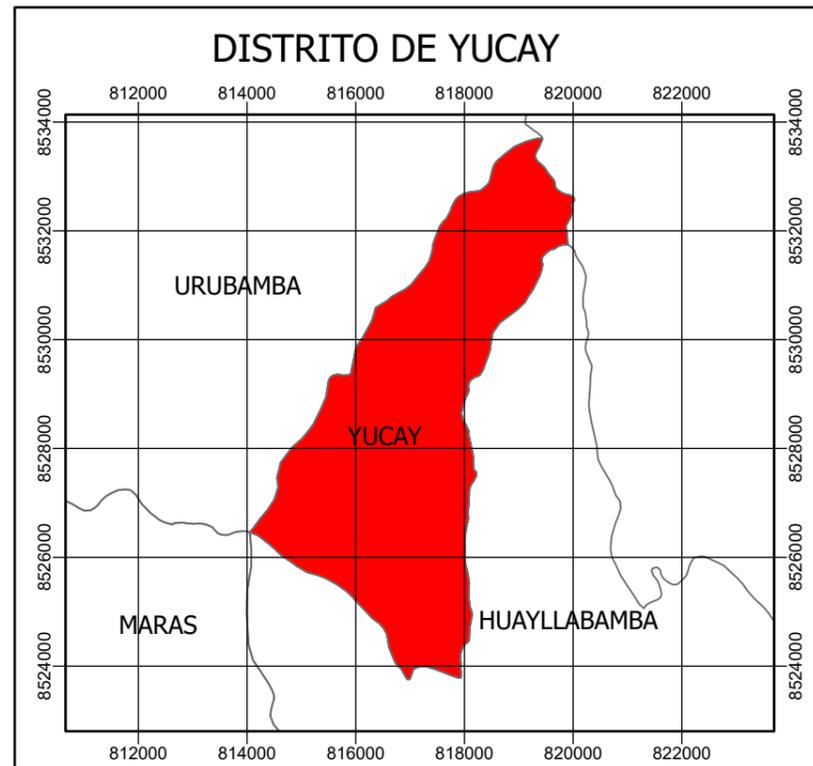
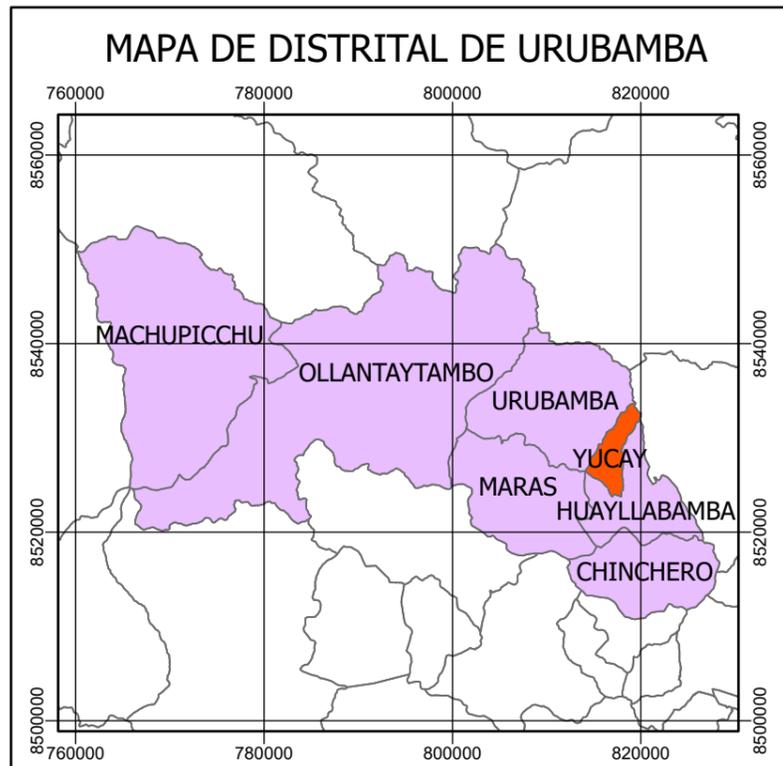
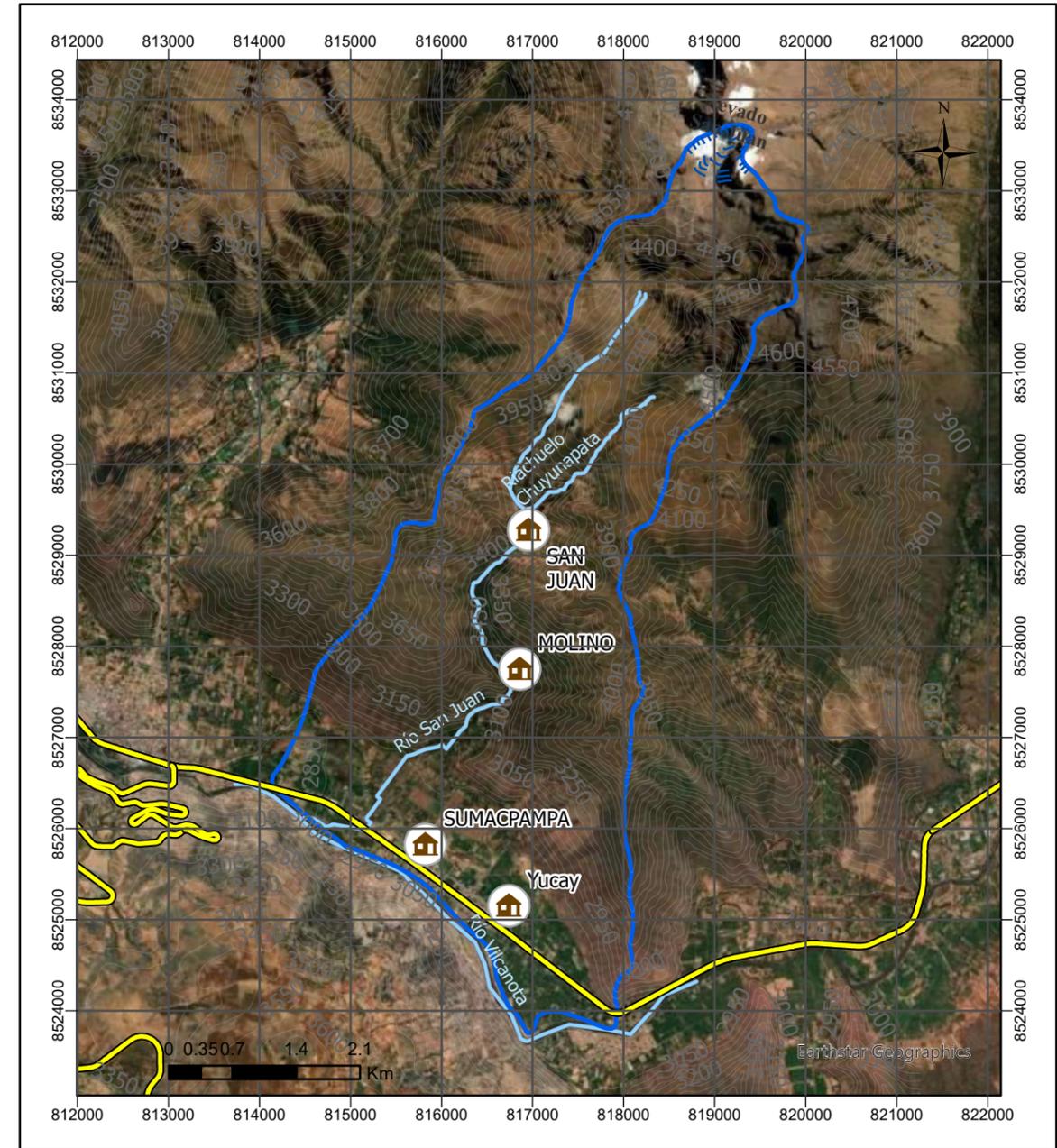
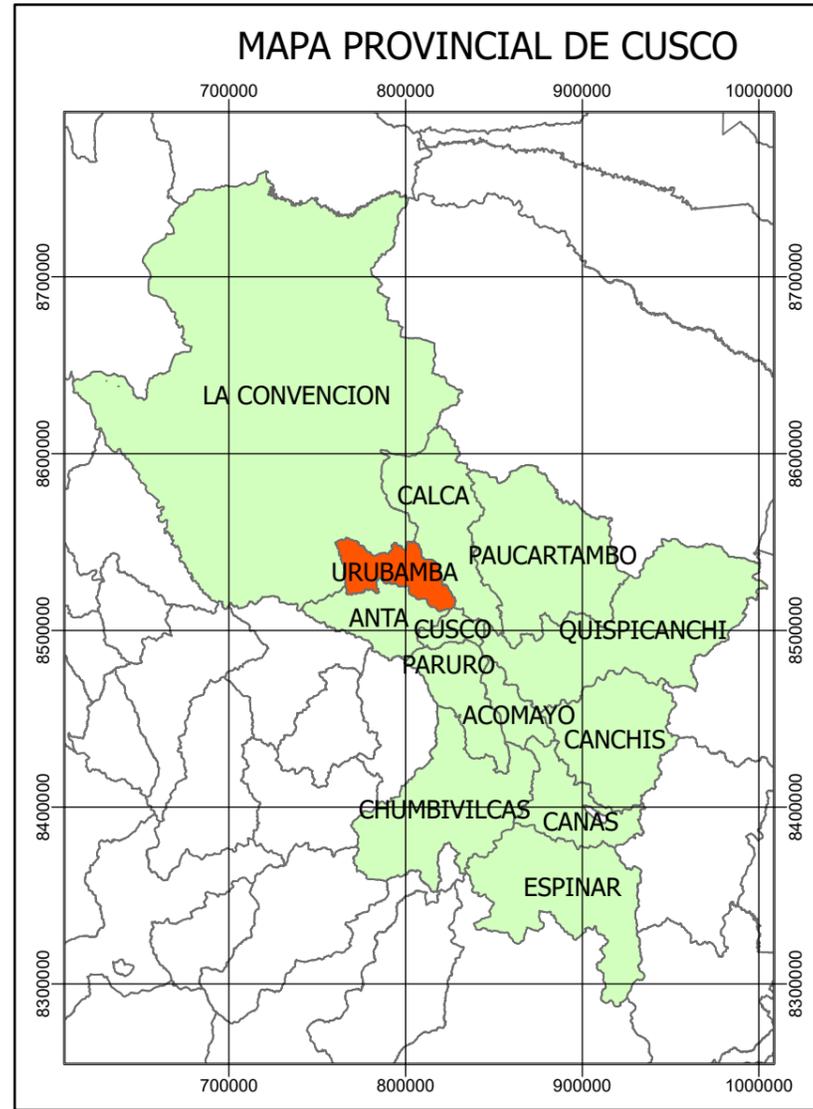
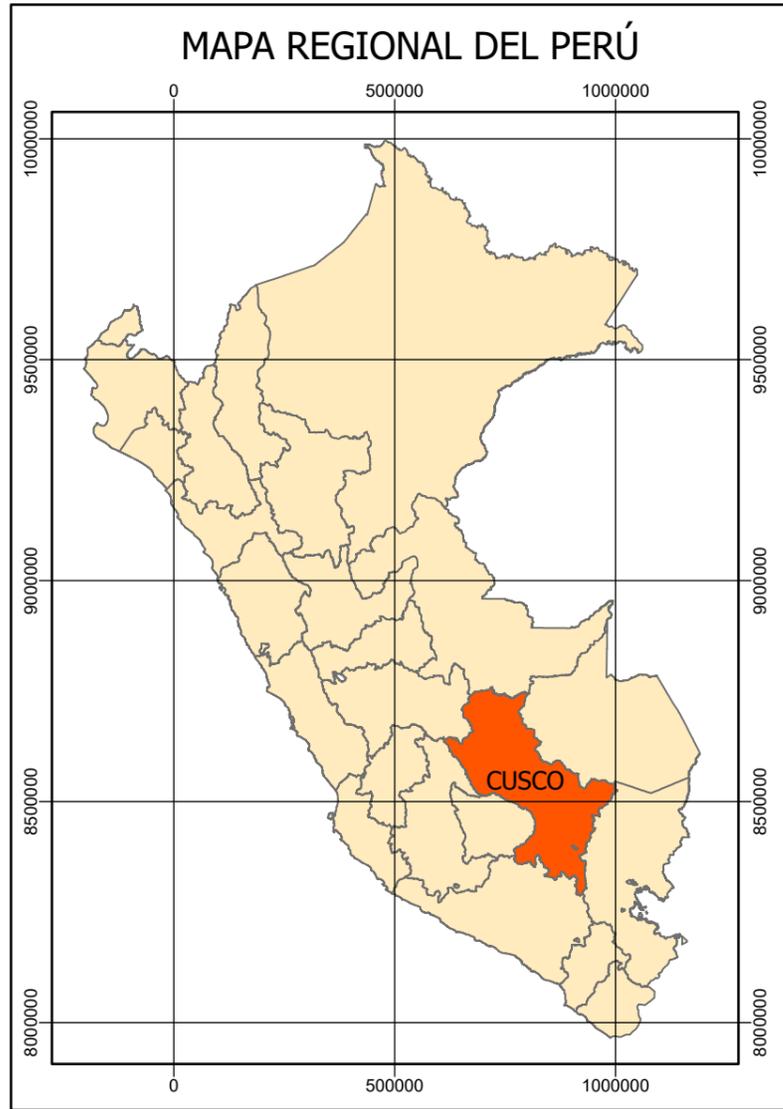


 Wilguedes Herrera Artola
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



ANEXO D: MAPAS Y SECCIONES

MAPA DE UBICACIÓN DE LA CUENCA SAN JUAN



Leyenda

- Centros poblados
- Nevado San Juan
- Vías
- Curvas de nivel
- Cuenca San Juan
- Ríos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

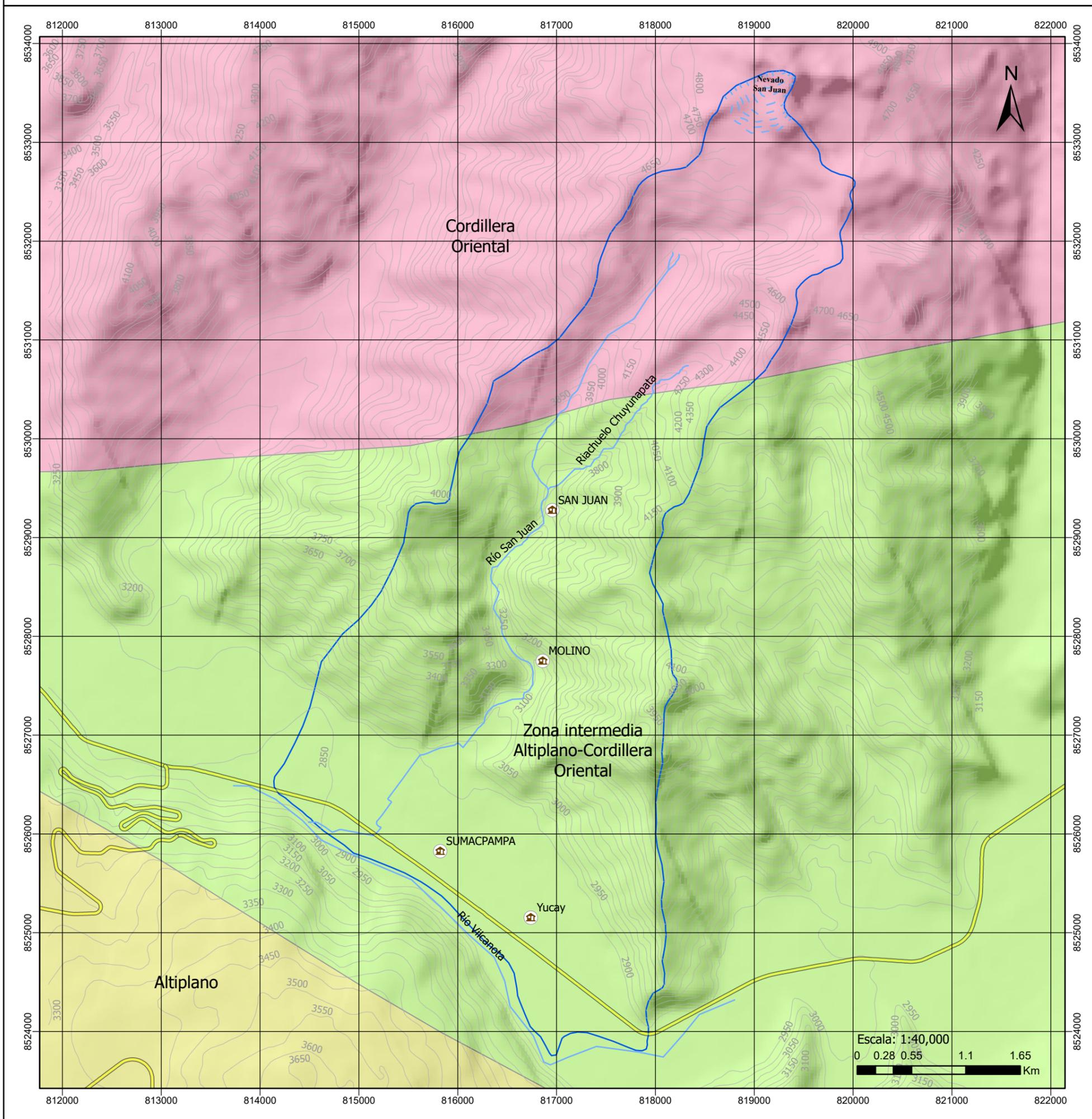
"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

MAPA DE UBICACIÓN DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR:	SISTEMA DE COORDENADAS	
Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina	WGS84 UTM	ZONA 18 L
Br. Huaman Quispe Justino	Tamaño de hoja:	
ASESORADO POR:	A3	
Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago		
UBICACIÓN:		
REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY		

P 01

MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL DE LA CUENCA SAN JUAN

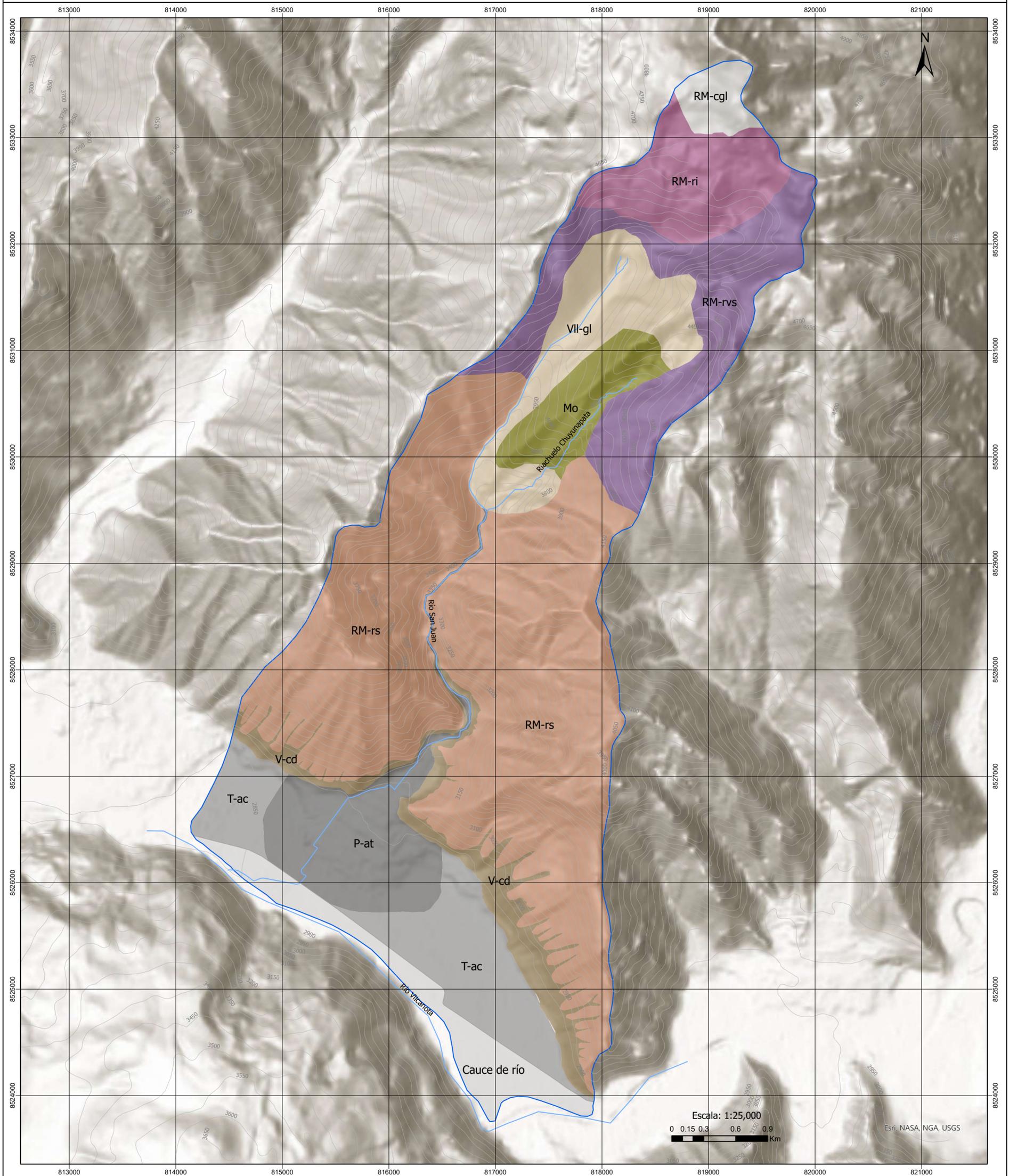


Leyenda	
Geomorfología regional	
	Altiplano
	Cordillera Oriental
Zona intermedia	
	Altiplano-Cordillera Oriental

Simbología	
	Centros poblados
	Vías
	Ríos
	Curvas de nivel
	Cuenca San Juan

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL DE LA CUENCA SAN JUAN	
ELABORADO POR: Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina Br. Huaman Quispe Justino	SISTEMA DE COORDENADAS WGS84 UTM ZONA 18 S Tamaño de hoja: A3 Escala: 1/40000
ASESORADO POR: Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago	P 02
UBICACIÓN: REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY	

MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL DE LA CUENCA SAN JUAN



Leyenda

Geomorfología Local	RM-ri, Montaña en roca intrusiva	V-cd, Vertiente o pie de monte Coluvio-deluvial
Cauce de río	RM-rs, Montaña en roca sedimentaria	VII-gl, Valle glaciar
Mo, Morrenas	RM-rvs, Montaña en roca volcano-sedimentaria	
P-at, Vertiente o pie de monte Aluvio-torrencial	T-ac, Terraza Aluvio-coluvial	
RM-cgl, Montaña en roca intrusiva con cobertura glaciar		

Simbología

- Ríos
- Curvas de nivel
- Cuenca San Juan



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

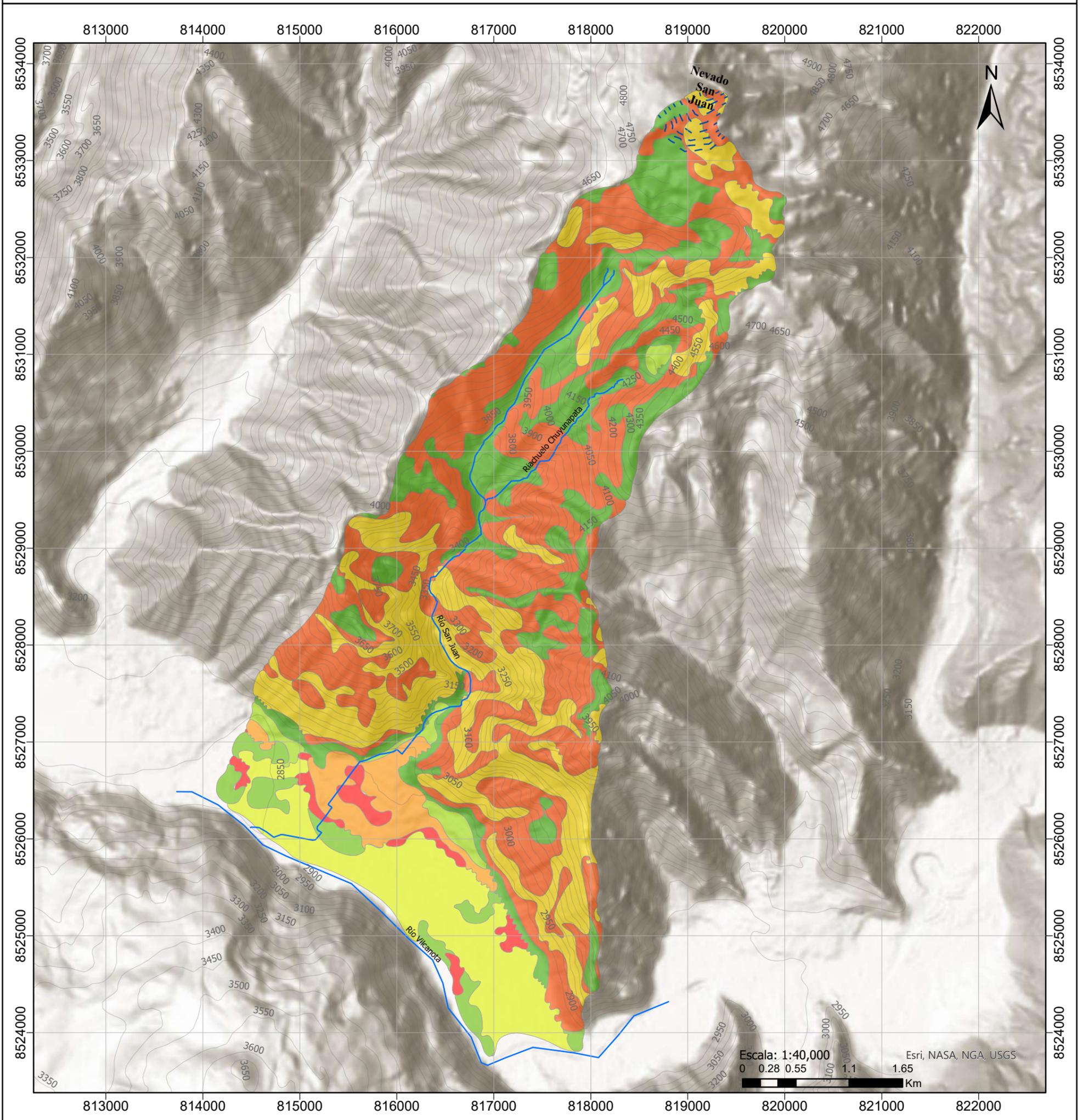
MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR:	SISTEMA DE COORDENADAS	
Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina Br. Huaman Quispe Justino	WGS84 UTM	ZONA 18 S
ASESORADO POR:	Tamaño de hoja: A2	
Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago	Escala: 1/25000	

UBICACIÓN:
 REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY

P 03

MAPA DE PENDIENTES DE LA CUENCA SAN JUAN

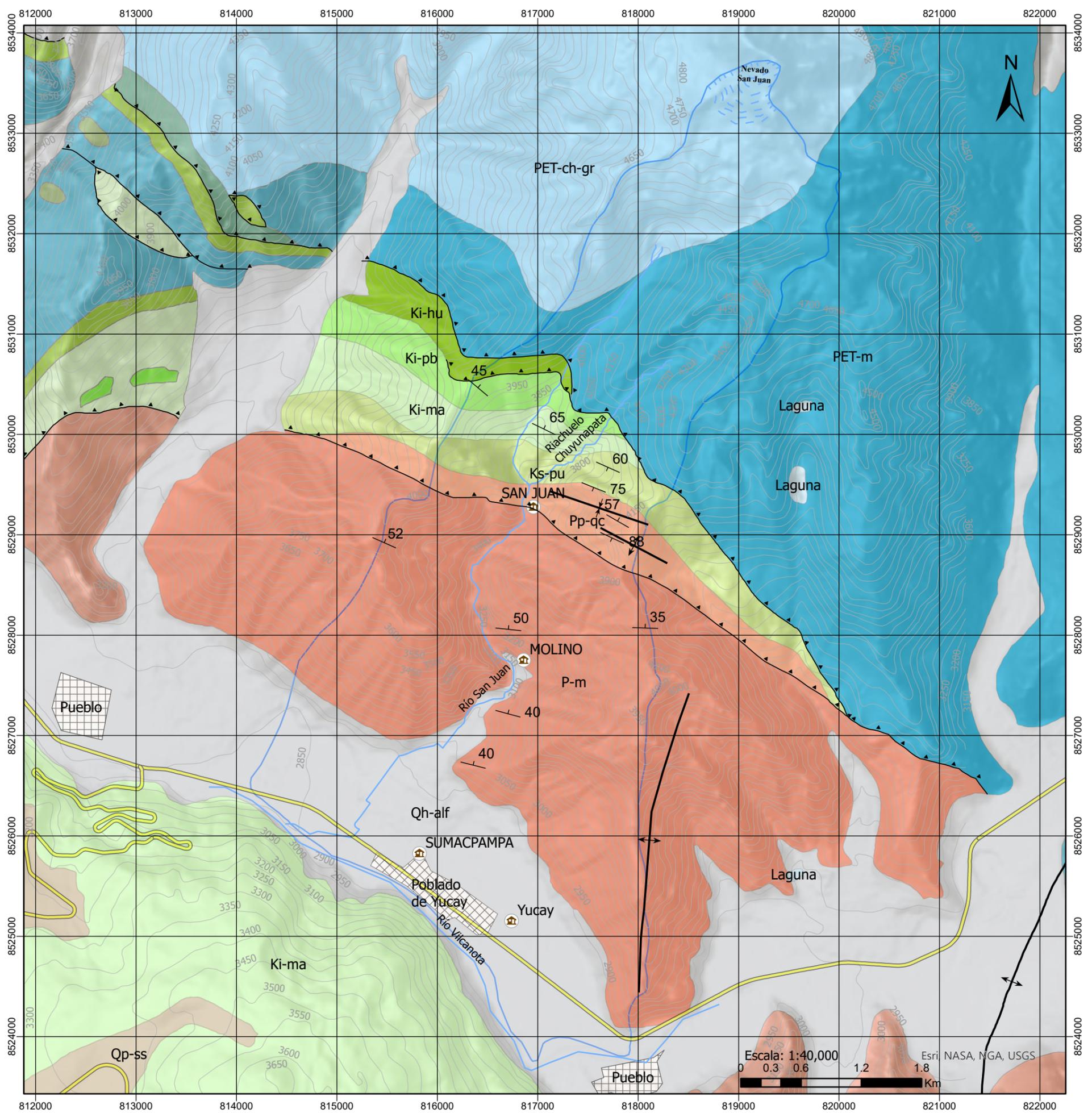


Leyenda

- - - Nevado San Juan	15-25% Moderadamente empinadas	50-75% Fuertemente empinadas
— curvas23	2-4% Llano a Ligeramente inclinado	8-15% Fuertemente inclinadas
— Ríos	25-50% Empinadas	>75% Extremadamente Empinadas
PENDIENTE	4-8% Moderadamente inclinadas	
0-2% Plano o casi nivel o allanada		

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAI, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"	
MAPA DE PENDIENTES DE LA CUENCA SAN JUAN	
ELABORADO POR: Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina Br. Huaman Quispe Justino	SISTEMA DE COORDENADAS WGS84 UTM ZONA 18 S Tamaño de hoja: A3 Escala: 1/40000
ASESORADO POR: Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago	<h1>P 04</h1>
UBICACIÓN: REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAI	

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DE LA CUENCA SAN JUAN

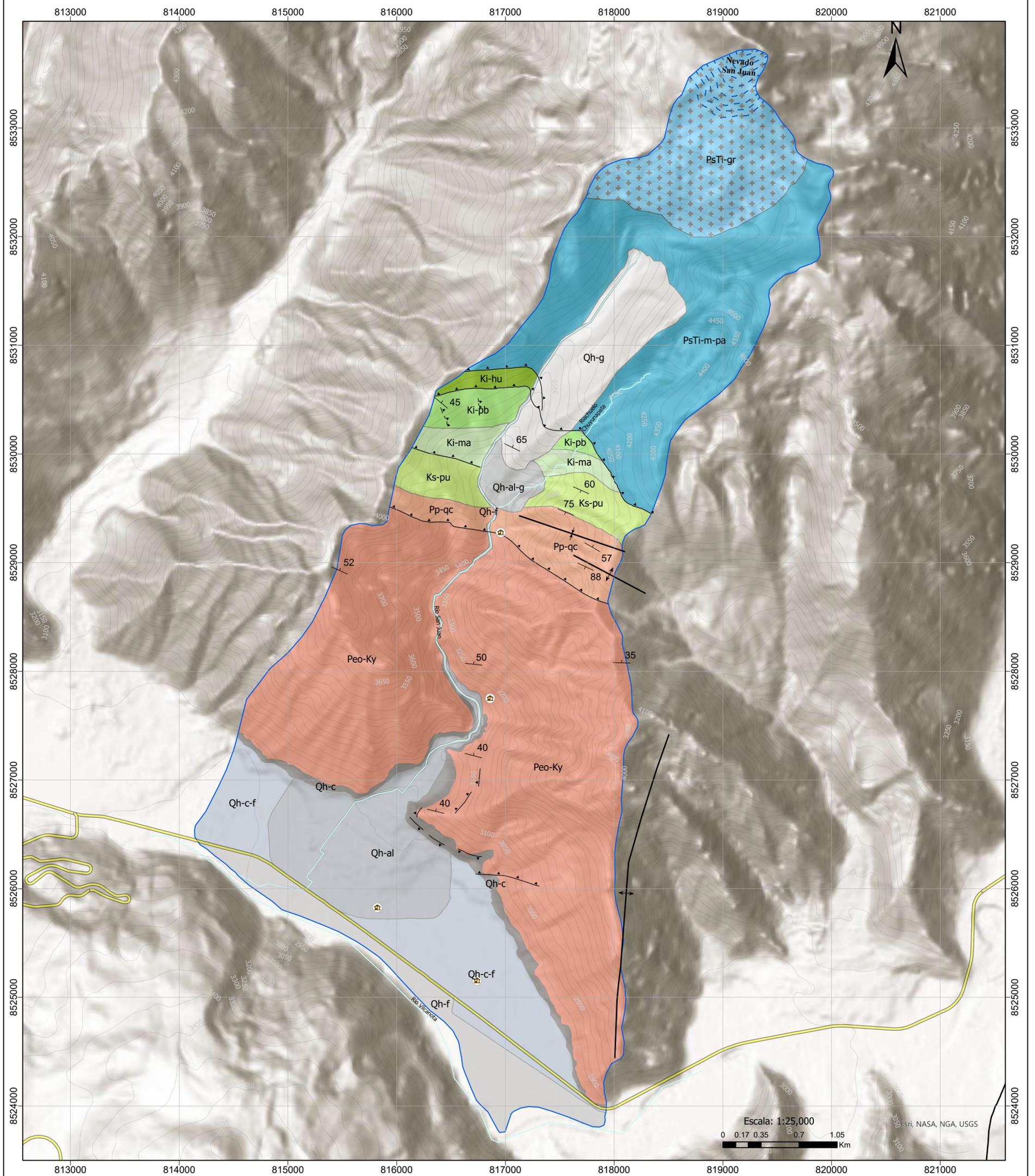


Leyenda	
	Ki-hu, Formación Huancané
	Ki-ma, Formación Maras
	Ki-pb, Formación Paucarbamba
	Ks-pu, Formación Puquin
	P-m, Grupo San Jeronimo
	PET-m, Grupo Mitu
	Poblado de Yucay
	Pp-qc, Formación Quique Chilca
	Qh-alf, Depósito fluvioaluvial
	Laguna
	PET-ch-gr. Choquezafra - granito
	Pueblo
	Qp-ss, Formación San Sebastián

SIMBOLOGIA	
	Cuenca San Juan
	Curvas de nivel
	Ríos
	Nevado San Juan
	Vías
	Centros poblados
	Eje de anticlinal
	Eje de anticlinal tumbado
	Eje de sinclinal
	Eje de sinclinal tumbado
	Buzamiento
	Falla
	Laguna

	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"	
MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DE LA CUENCA SAN JUAN	
ELABORADO POR: Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina Br. Huaman Quispe Justino	SISTEMA DE COORDENADAS WGS84 UTM ZONA 18 S Tamaño de hoja: A3 Escala: 1/40000
ASESORADO POR: Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago	<h1>P 05</h1>
UBICACIÓN: REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY	

MAPA GEOLÓGICO LOCAL DE LA CUENCA SAN JUAN



Escala: 1:25,000
0 0.17 0.35 0.7 1.05 Km
Esri, NASA, NGA, USGS

LEYENDA			
SISTEMA	SERIE	UNIDAD	SIMBOLO
CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Morrenico	Qh-g
		Dep. Fluvial	Qh-f
		Dep. Coluvial-Fluvial	Qh-c-f
		Dep. Coluvial	Qh-c
		Dep. Aluvial-Morrenico	Qh-al-g
		Dep. Aluvial	Qh-al
PALEOGENO	Eoceno	Fm. Kayra	Peo-Ky
	Paleoceno	Fm. Quilque-Chilca	Pp-qc
CRETACITO	Superior	Fm. Puquin	Ks-pu
		Fm. Maras	Ki-ma
	Inferior	Fm. Paucarbamba	Ki-pb
		Fm. Huancane	Ki-hu
JURASICO	Inferior	Fm. Pachatusan	PsTi-m-pa
TRIASICO		Granito	PsTi-gr

SIMBOLOGIA	
	Ríos
	Cuenca San Juan
	FALLAS
	Eje de anticlinal
	Eje de anticlinal tumbado
	Eje de sinclinal
	Eje de sinclinal tumbado
	Buzamiento
	Centros poblados
	Vías
	Nevado San Juan

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

MAPA GEOLÓGICO LOCAL DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR: Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina Br. Huaman Quispe Justino	SISTEMA DE COORDENADAS WGS84 UTM ZONA 18 S Tamaño de hoja: A2
ASESORADO POR: Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago	Escala: 1/25000

UBICACIÓN:
REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY

P 06

MAPA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA SAN JUAN



LEYENDA

- Falla inferida
- ▲▲▲ Falla inversa
- <all other values>
- ↕ Eje de anticlinal
- Eje de anticlinal tumbado
- ↗ Eje de sinclinal
- Eje de sinclinal tumbado

SIMBOLOGIA

- Ríos
- curvas23
- Cuenca San Juan
- 🏠 Centros poblados
- Vías
- - - Nevado San Juan



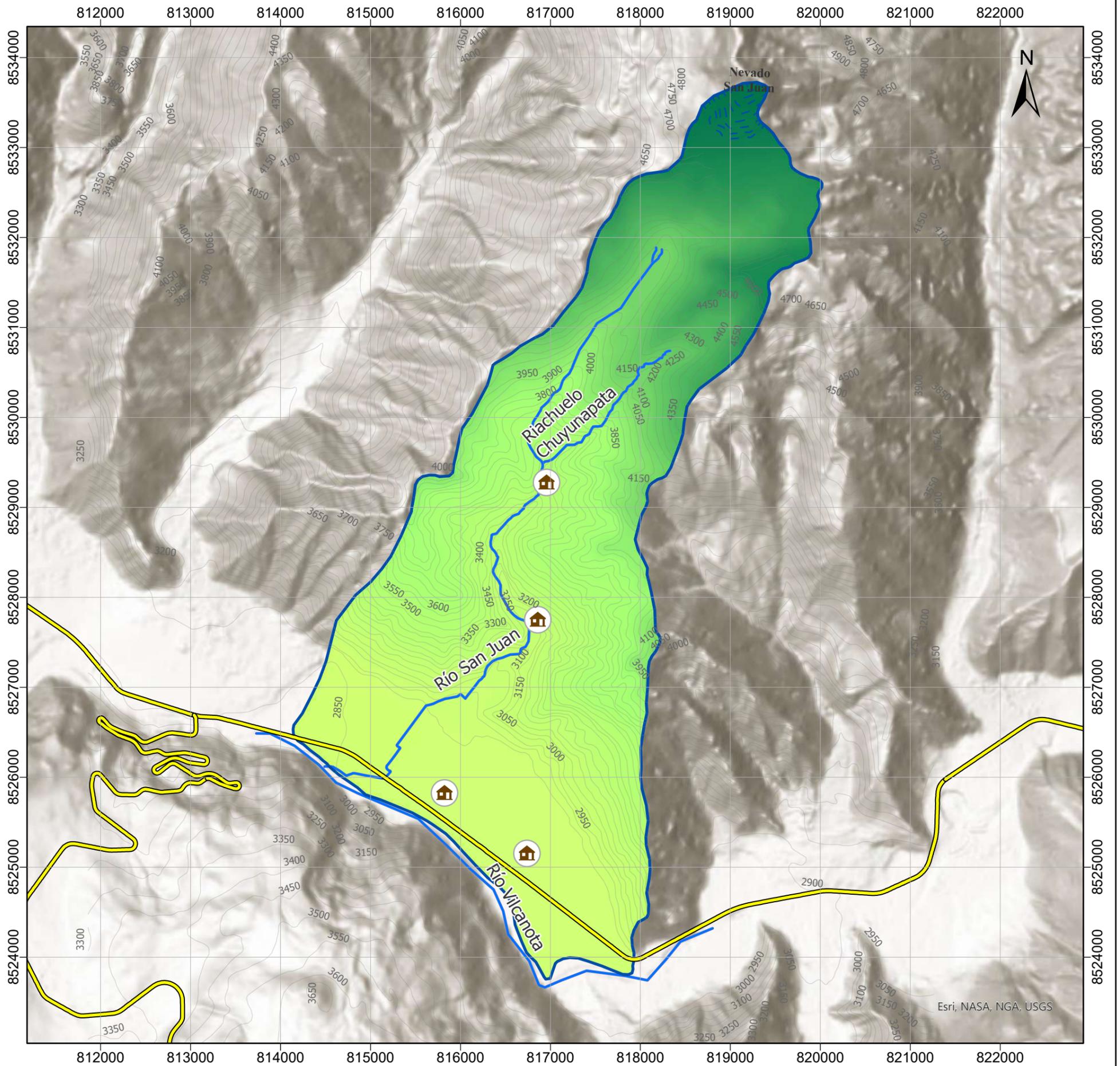
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

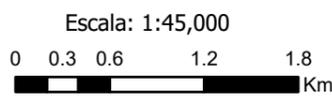
MAPA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR:	SISTEMA DE COORDENADAS	
Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina Br. Huaman Quispe Justino	WGS84 UTM	ZONA 18 S
ASESORADO POR:	Tamaño de hoja: A2	
Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago	Escala: 1/25000	
UBICACIÓN:	P 07	
REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY		

MAPA HIDROLÓGICO DE LA CUENCA SAN JUAN



PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA SAN JUAN			
PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
Área de la cuenca	A	Km ²	23.86
Perímetro de la cuenca	P	Km	26.11
Longitud de la cuenca	L	Km	10.29
Ancho promedio	Ap	Km	2.75
Coefficiente de compacidad	Kc	-	1.51
Factor de forma	Ef	-	0.32
Rectángulo equivalente	RE	Km	11



PARAMETROS FISIGRÁFICOS DE LA CUENCA SAN JUAN			
PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
Longitud del cauce principal	L	km	8.67
Altitud máxima	Cmax	msnm	4860
Altitud mínima	Cmin	msnm	2850
Altitud media	Cme	msnm	3632

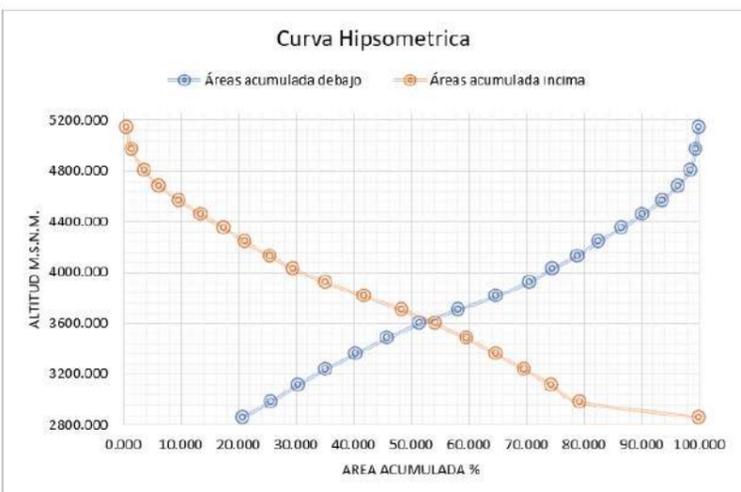


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

MAPA HIDROLÓGICO DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR:		SISTEMA DE COORDENADAS	
Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina		WGS84 UTM	ZONA 18 S
Br. Huaman Quispe Justino		Tamaño de hoja: A3	
ASESORADO POR:		Escala: 1/45000	
Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago		P 08	
UBICACIÓN:			
REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY			

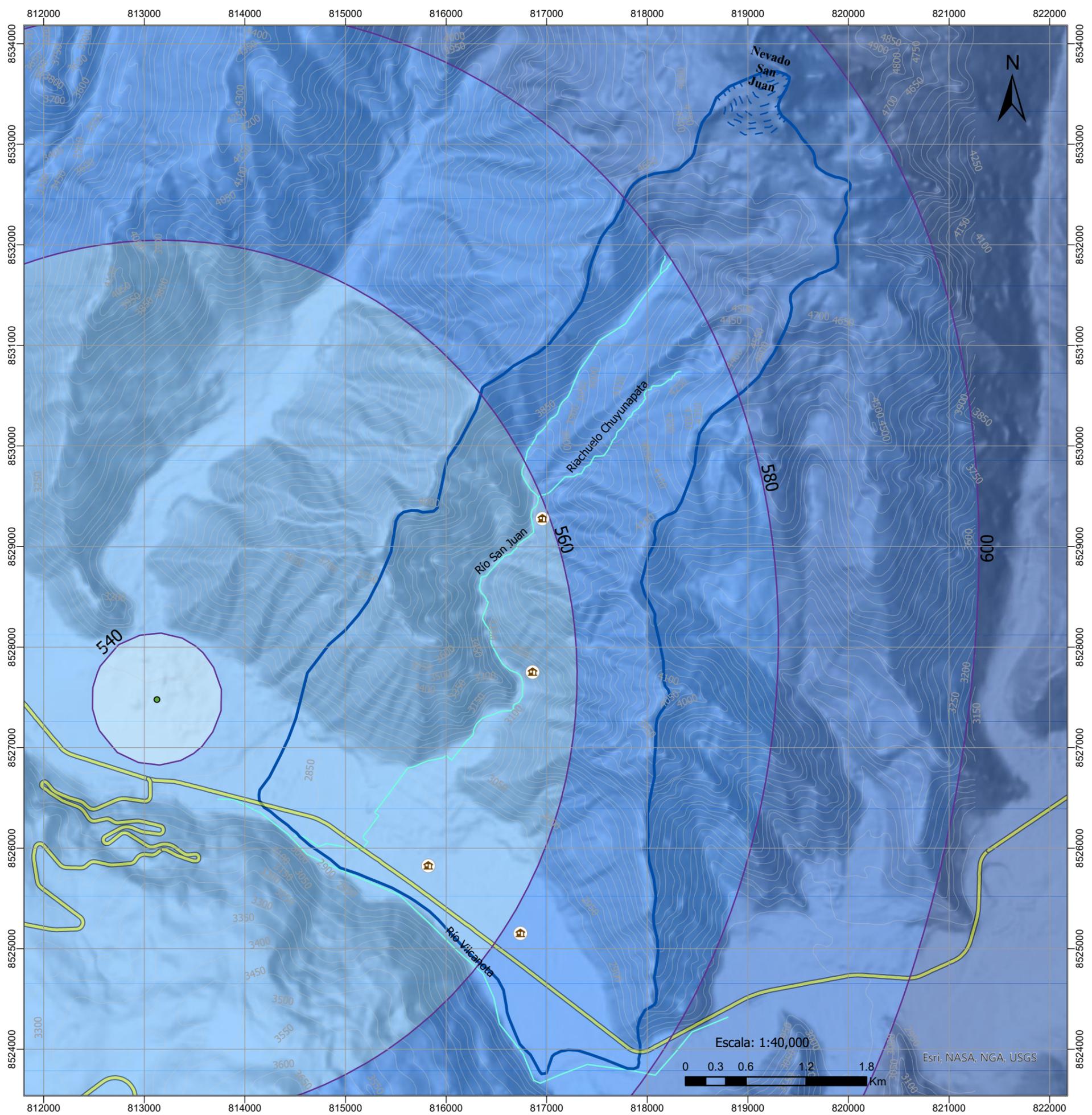


Simbología

Altitud de la cuenca máxima y mínima

- 4860
- 2850
- Centros poblados
- Nevado San Juan
- Vías
- Curvas de nivel
- Cuenca San Juan
- Ríos

MAPA DE ISOYETAS DE LA CUENCA SAN JUAN



Leyenda

— ISOYETAS

Valores de precipitación media en mm

Value

517.003 - 517.002
517.003 - 540
540.001 - 560
560.001 - 580
580.001 - 600
600.001 - 620
620.001 - 640

Simbología

	Centros poblados
	Vías
	Ríos
	Curvas de nivel
	Cuenca San Juan
	Estación Metereológica



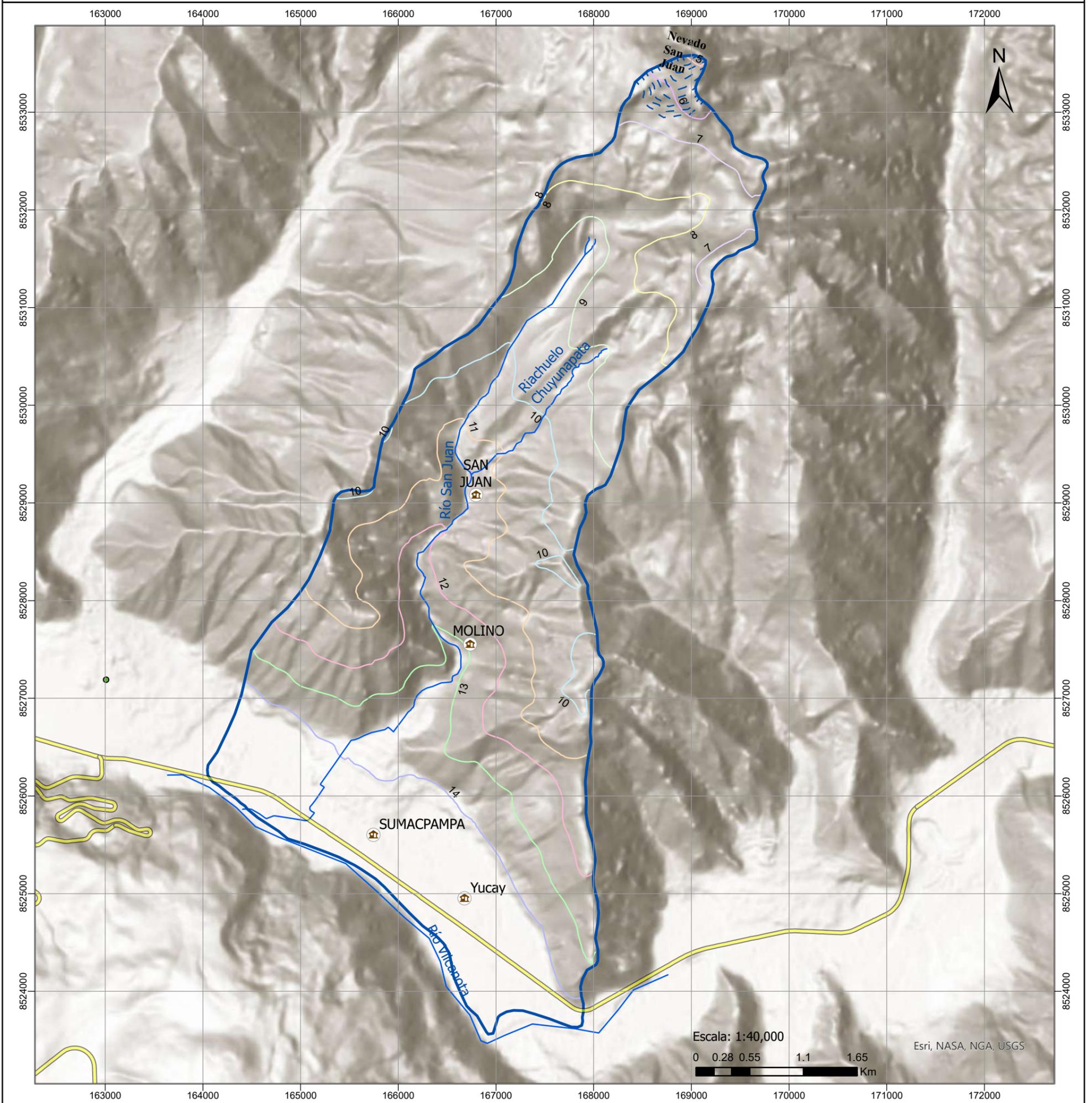
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

MAPA DE ISOYETAS DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR: Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina Br. Huaman Quispe Justino	SISTEMA DE COORDENADAS WGS84 UTM ZONA 18 S Tamaño de hoja: A3
ASESORADO POR: Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago	Escala: 1/40000
UBICACIÓN: REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY	P 09

MAPA DE ISOTERMAS DE LA CUENCA SAN JUAN



Leyenda

Temperatura

Temperatura °C
4.91 - 6.32
6.32 - 7.31
7.31 - 8.11
8.11 - 8.95
8.95 - 9.78
9.78 - 10.62
10.62 - 11.51
11.51 - 12.45
12.45 - 13.47
13.47 - 14.21

Isotermas

Isotermas °C
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14

Simbología

- Centros poblados
- Vías
- Ríos
- Cuenca San Juan
- Estación metereológica



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

MAPA DE ISOTERMAS DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR:

Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina
Br. Huaman Quispe Justino

SISTEMA DE COORDENADAS

WGS84 UTM | ZONA 18 S

Tamaño de hoja: A3

ASESORADO POR:

Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago

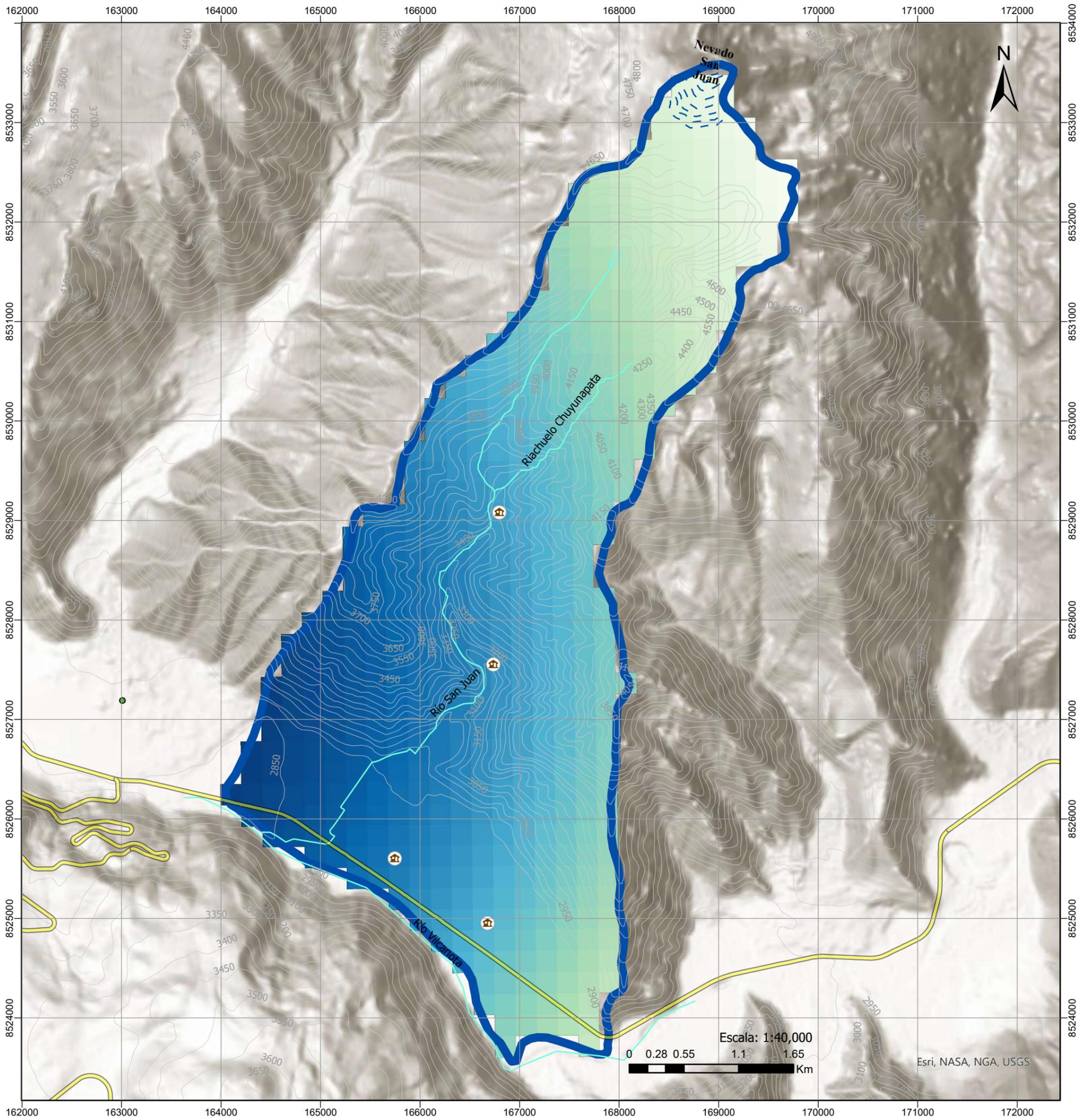
Escala: 1/40000

UBICACIÓN:

REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY

P 10

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACION DE LA CUENCA SAN JUAN



Leyenda

Valores de evapotranspiracion

Value



Simbología

- Centros poblados
- Vías
- Ríos
- Curvas de nivel
- Cuenca San Juan
- Estación metereológica



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACION DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR:

Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina
Br. Huaman Quispe Justino

SISTEMA DE COORDENADAS

WGS84 UTM | ZONA 18 S

Tamaño de hoja: A3

ASESORADO POR:

Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago

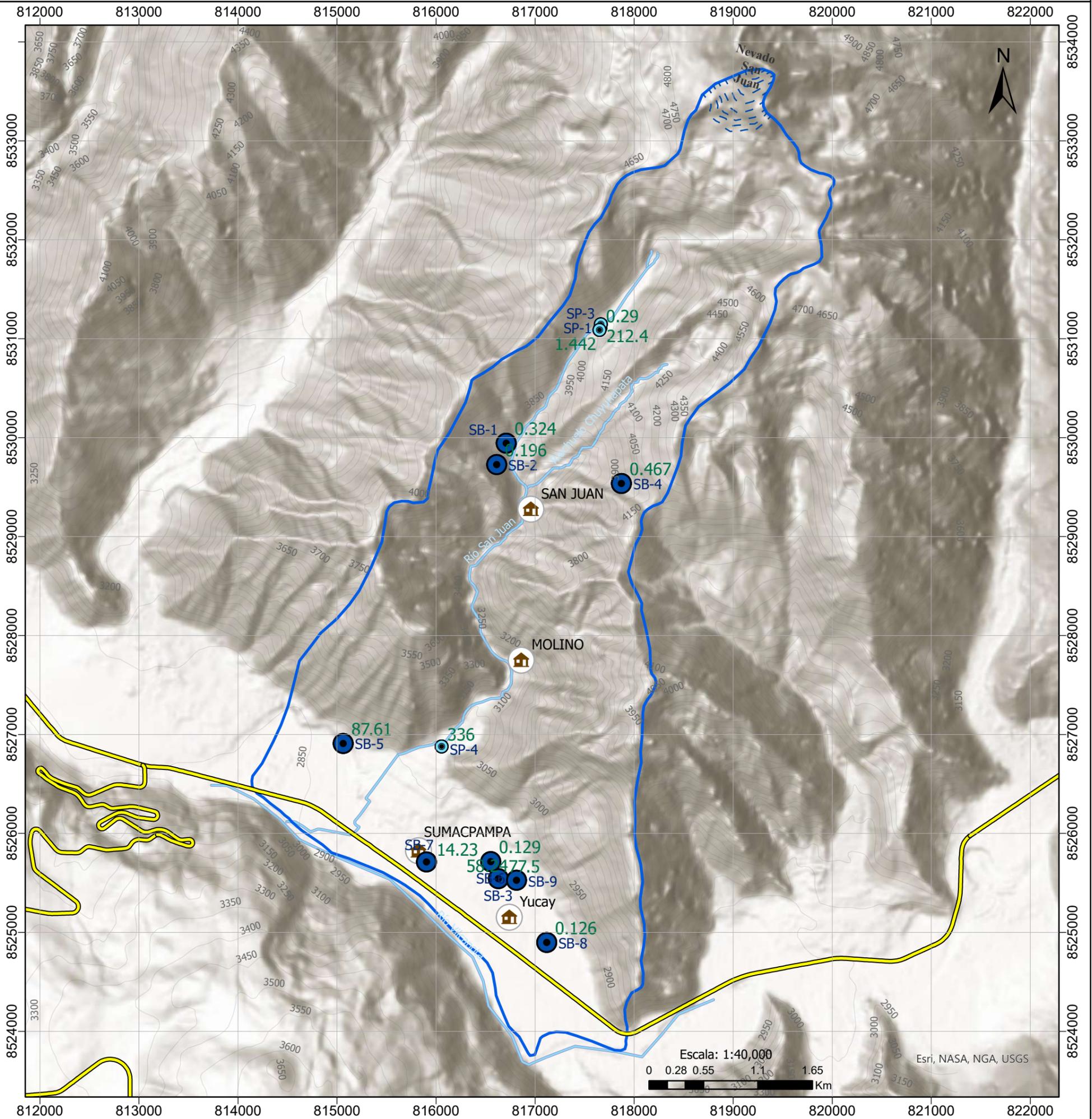
Escala: 1/40000

UBICACIÓN:

REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY

P 11

MAPA DE INVENTARIO DE AGUAS DE LA CUENCA SAN JUAN



Simbología

- Centros poblados
- Vías
- Inventario de aguas
- Tipo
- Superficial
- Subterráneo
- Cuenca San Juan
- Ríos
- Nevado San Juan

LEYENDA											
Codigo	Cuenca	Sector	Tipo de fuente	Este	Norte	Cota	Ph	CE (µS/cm)	TSD (mg/l)	T (°C)	Q (l/s)
SP-1	San Juan	Cuyoq 2	Superficial	817658	8531109	4057	8.1	90	40	9.5	0.29
SP-3	San Juan	Río San Juan	Superficial	817663	8531146	4057	8	70	70	14.5	212.4
SP-2	San Juan	Cuyoq 1	Superficial	817650	8531089	4057	7.6	60	80	11	1.442
SB-4	San Juan	Chuyunapata	Subterráneo	817871	8529537	3978	7.9	300	140	15.2	0.467
SB-5	San Juan	Huachaq	Subterráneo (manante perenne)	815062	8526909	2868	7.6	510	250	16.4	87.61
SB-1	San Juan	San Juan 1	Subterráneo	816708	8529944	3726	7.9	320	160	14.5	0.324
SB-2	San Juan	San Juan 2	Subterráneo	816612	8529728	3750	7.8	340	180	14.9	0.196
SB-3	San Juan	Morayoq	Subterráneo	816629	8525543	2861	7.9	430	210	15.6	77.5
SB-9	San Juan	Soqospuqillo	Subterráneo (manante perenne)	816812	8525527	2859	7.6	430	190	14.9	58.24
SB-8	San Juan	Mantoroccocha	Subterráneo	817117	8524898	2863	7.6	480	230	15.3	0.126
SB-6	San Juan	Huayllapampa	Subterráneo	816552	8525715	2860	7.6	500	250	14.8	0.192
SB-7	San Juan	Miskapampa	Subterráneo	815903	8525712	2861	7.8	500	250	15.8	14.23
SP-4	San Juan	Unuraqui (río San Juan)	Superficial	816055	8526878	2955	8	75	80	15.8	336



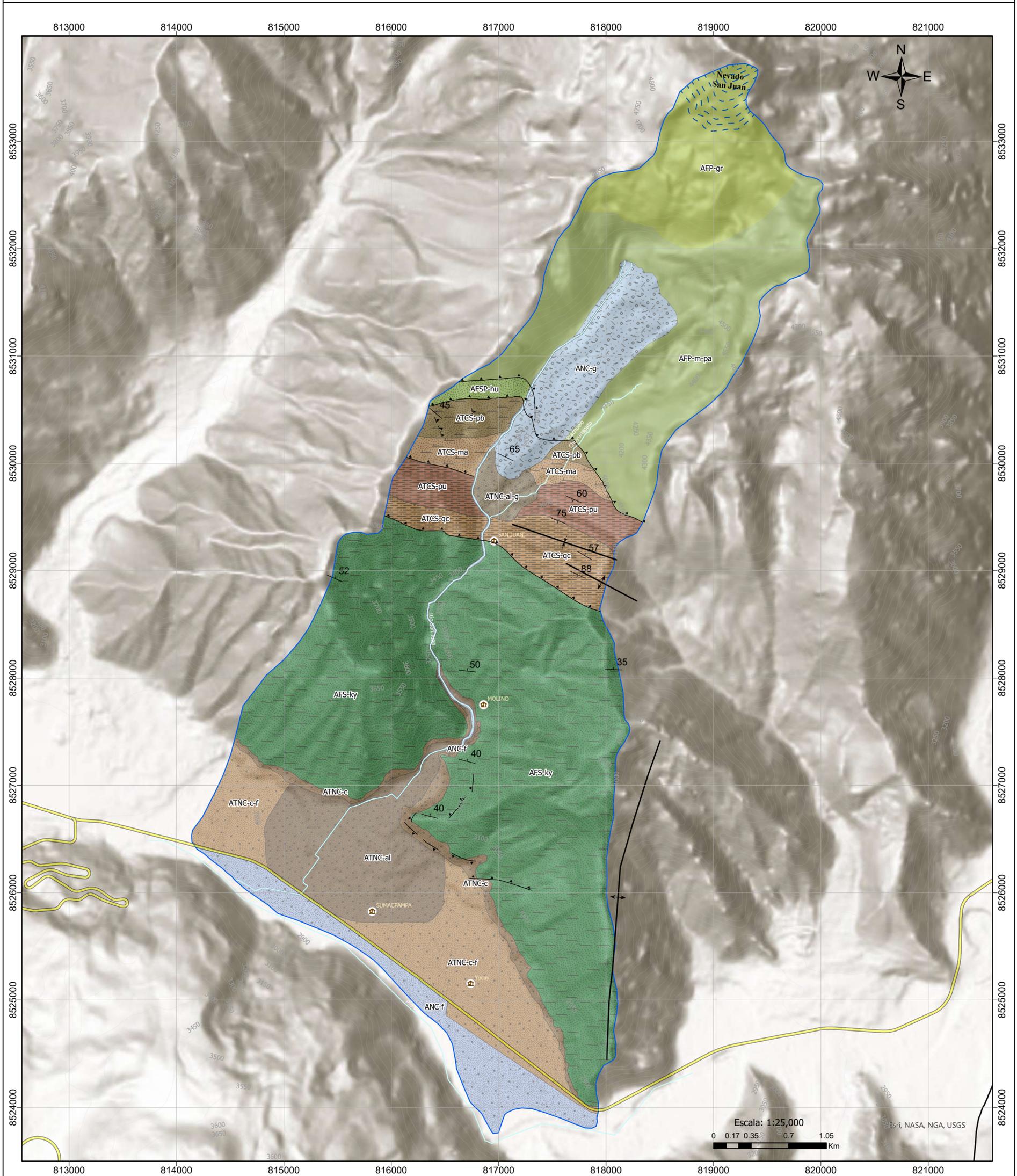
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DELCUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

MAPA DE INVENTARIO DE AGUAS DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR:	SISTEMA DE COORDENADAS	
Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina	WGS84 UTM	ZONA 18 S
Br. Huaman Quispe Justino	Tamaño de hoja: A3	
ASESORADO POR:	Escala: 1/40000	
Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago		
UBICACIÓN:	P 13	
REGION CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY		

MAPA HIDROGEOLÓGICO LOCAL DE LA CUENCA SAN JUAN



Unidad geológica	Símbolo geológico	K (m/día)	Caracterización hidrogeológica	Símbolo hidrogeológico
Dep. Morrenico	Qh-g	1.04336	Acuífero no consolidado	ANC-g
Dep. Fluvial	Qh-f	1.65115	Acuífero no consolidado	ANC-f
Dep. Coluvial-Fluvial	Qh-c-f	0.01243	Acuitardo no consolidado	ATNC-c-f
Dep. Coluvial	Qh-c	0.00988	Acuitardo no consolidado	ATNC-c
Dep. Aluvial-Morrenico	Qh-al-g	0.02800	Acuitardo no consolidado	ATNC-al-g
Dep. Aluvial	Qh-al	0.00448	Acuitardo no consolidado	ATNC-al
Fm. Kayra	Peo-Ky	0.85836	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-ky
Fm. Quilque-Chilca	Pp-qc	0.00578	Acuitardo sedimentario	ATCS-qc
Fm. Puquin	Ks-pu	0.00488	Acuitardo sedimentario	ATCS-pu
Fm. Maras	Ki-ma	0.00369	Acuitardo sedimentario	ATCS-ma
Fm. Paucarbamba	Ki-pb	0.00315	Acuitardo sedimentario	ATCS-pb
Fm. Huancane	Ki-hu	0.06117	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-hu
Fm. Pachatusan	PsTi-m-pa	0.02073	Acuífero fisurado	AF-m-pa
Granito	PsTi-gr	0.01359	Acuífero fisurado	AF-gr

Leyenda

Unidades Hidrogeológicas

- AF-gr
- AF-m-pa
- AFS-ky
- AFS-hu
- ANC-f
- ANC-g
- ATCS-pb
- ATCS-ma
- ATCS-pu
- ATCS-qc
- ATNC-al
- ATNC-al-g
- ATNC-c
- ATNC-c-f

SIMBOLOGÍA

- Ríos
- Cuenca San Juan
- Buzamiento
- Centros poblados
- Vías
- Nevado San Juan
- FALLAS
- Eje de anticlinal
- Eje de anticlinal tumbado
- Eje de sinclinal
- Eje de sinclinal tumbado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

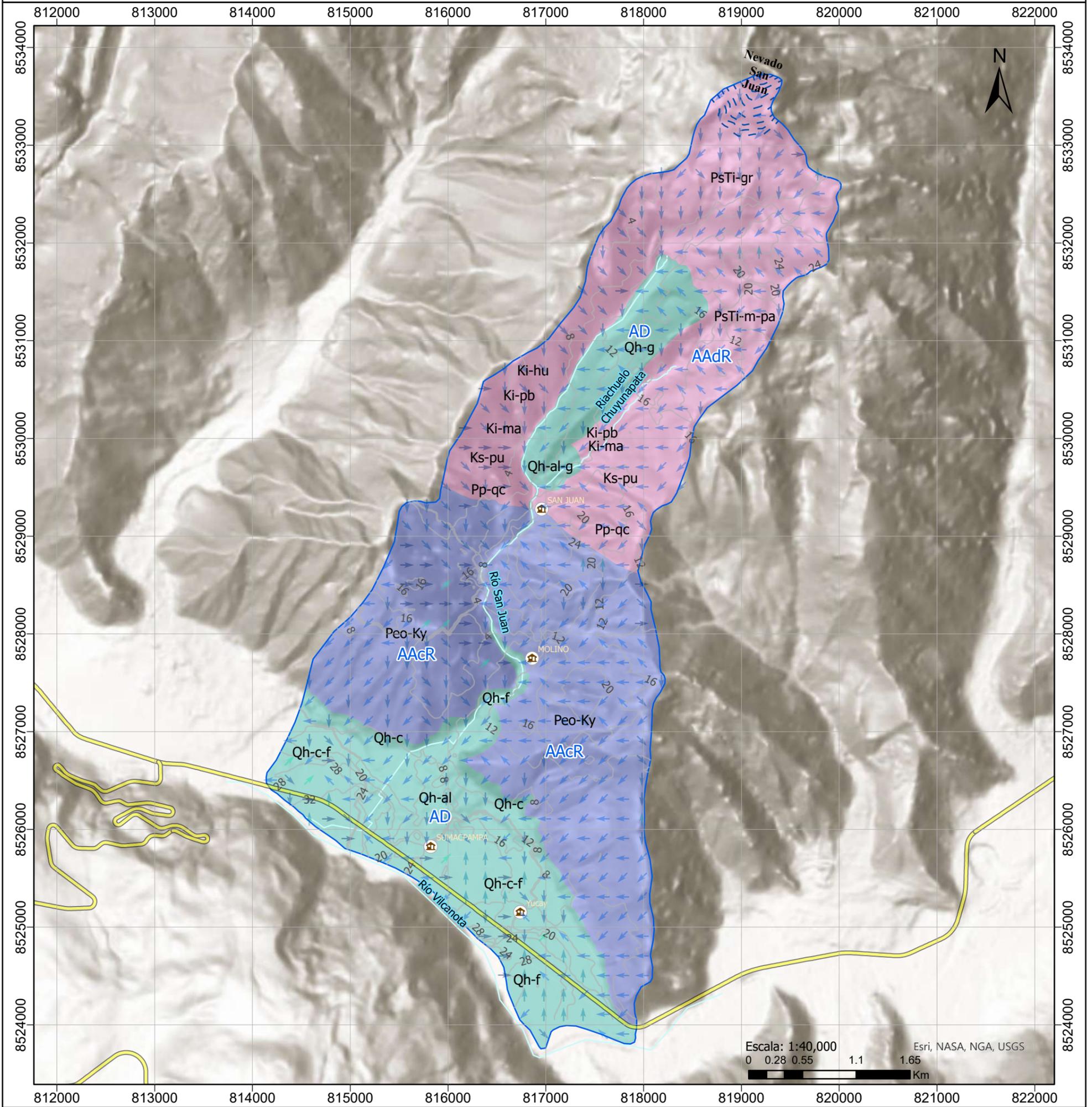
MAPA HIDROGEOLÓGICO LOCAL DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR: Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina Br. Huaman Quispe Justino	SISTEMA DE COORDENADAS WGS84 UTM ZONA 18 S Tamaño de hoja: A2
ASESORADO POR: Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago	Escala: 1/25000

UBICACIÓN:
REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY

P 14

MAPA DE RECARGA Y DESCARGA DE LA CUENCA SAN JUAN



Leyenda

Áreas de recarga y descarga

- Áreas aceptables de recarga
- Áreas adecuadas de recarga
- Áreas de descarga
- Isohipsas freáticas

Dirección de flujo

- 1
- 2
- 3 - 4
- 5 - 8
- 9 - 16
- 17 - 32
- 33 - 64
- 65 - 128

Simbología

- Centros poblados
- Nevado San Juan
- Vías
- Cuenca San Juan
- Ríos



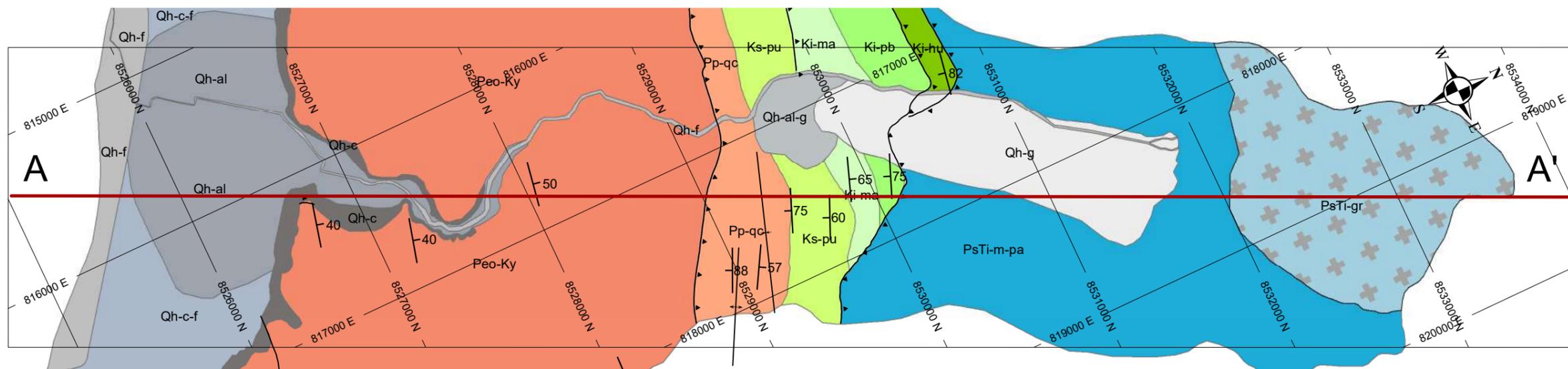
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CON EL PROPÓSITO DE DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO EN LA CUENCA SAN JUAN, DISTRITO DE YUCAY, PROVINCIA DE URUBAMBA, REGIÓN CUSCO-2021"

MAPA DE RECARGA Y DESCARGA DE LA CUENCA SAN JUAN

ELABORADO POR:		SISTEMA DE COORDENADAS	
Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina		WGS84 UTM	ZONA 18 S
Br. Huaman Quispe Justino		Tamaño de hoja: A3	
ASESORADO POR:		Escala: 1/40000	
Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago		P 15	
UBICACIÓN:			
REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY			

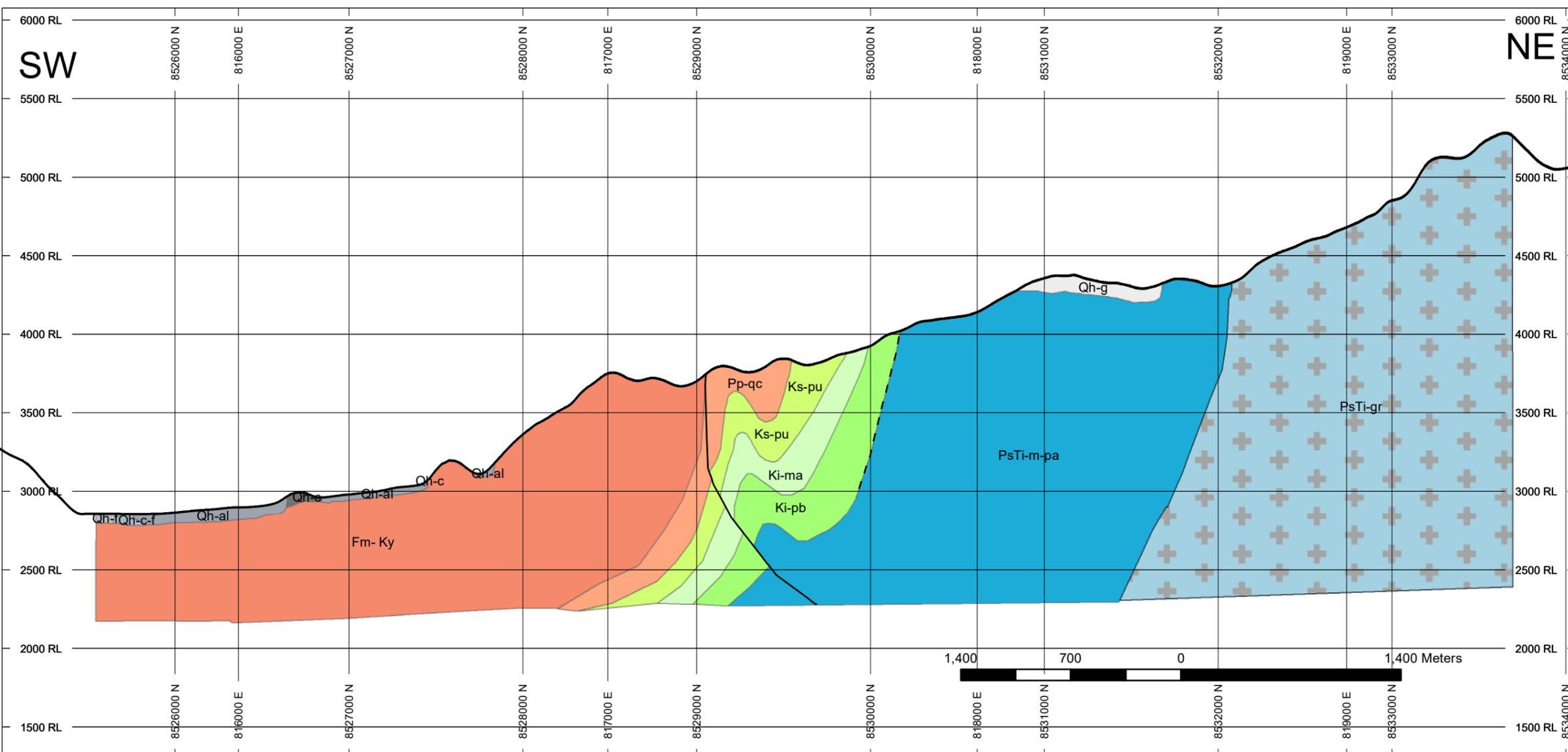
SECCIÓN GEOLÓGICA A - A'



LEYENDA

Unidades Estructurales

- Eje de anticlinal
- Eje de anticlinal tumbado
- Eje de sinclinal
- Eje de sinclinal tumbado
- fallas
- buzamiento



UNIDAD	SIMBOLO
Dep. Morrenico	Qh-g
Dep. Fluvial	Qh-f
Dep. Coluvial-Fluvial	Qh-c-f
Dep. Coluvial	Qh-c
Dep. Aluvial-Morrenico	Qh-al-g
Dep. Aluvial	Qh-al
Fm. Kayra	Peo-Ky
Fm. Quilque-Chilca	Pp-qc
Fm. Puquin	Ks-pu
Fm. Maras	Ki-ma
Fm. Paucarbamba	Ki-pb
Fm. Huancane	Ki-hu
Fm. Pachatusan	PsTi-m-pa
Granito	PsTi-gr

Escala:
1:30,000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021"

SECCIÓN GEOLÓGICA A-A'

ELABORADO POR: SISTEMA DE COORDENADAS

Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina
Br. Huaman Quispe Justino
Tamaño de hoja: A3

ASESORADO POR:

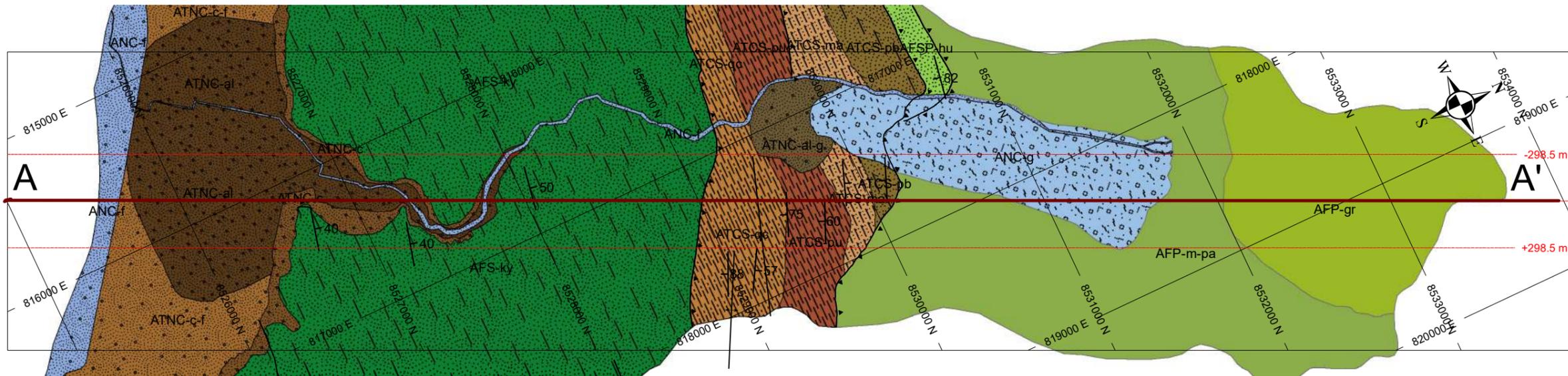
Ing. Melitos Ojeda Edison Santiago

UBICACIÓN:

REGIÓN CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY

SEC 01

SECCIÓN HIDROGEOLOGICA A - A'

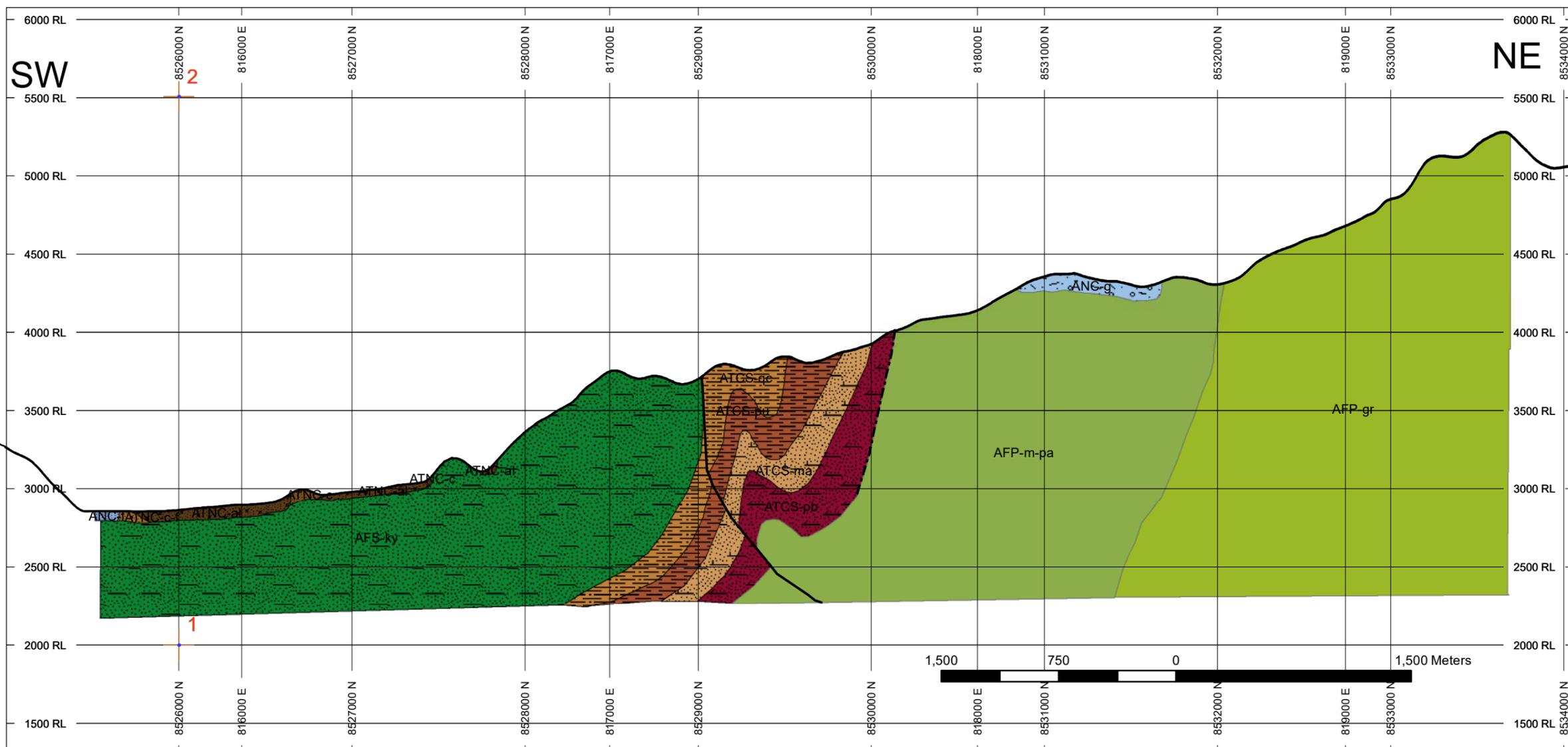


LEYENDA

Unidades Estructurales

- +— Eje de anticlinal
- +— Eje de anticlinal tumbado
- +— Eje de sinclinal
- +— Eje de sinclinal tumbado
- ▲ fallas
- ┆ buzamiento

Unidad geológica	K (m/día)	Caracterización hidrogeológica	Símbolo hidrogeológico
Dep. Morrenico	1.04336	Acuífero no consolidado	ANC-g
Dep. Fluvial	1.65115	Acuífero no consolidado	ANC-f
Dep. Coluvial-Fluvial	0.01243	Acuitardo no consolidado	ATNC-c-f
Dep. Coluvial	0.00988	Acuitardo no consolidado	ATNC-c
Dep. Aluvial-Morrenico	0.02800	Acuitardo no consolidado	ATNC-al-g
Dep. Aluvial	0.00448	Acuitardo no consolidado	ATNC-al
Fm. Kayra	0.85836	Acuífero fisurado sedimentario	AFS-ky
Fm. Quilque-Chilca	0.00578	Acuitardo sedimentario	ATCS-qa
Fm. Puquin	0.00488	Acuitardo sedimentario	ATCS-pu
Fm. Maras	0.00369	Acuitardo sedimentario	ATCS-ma
Fm. Paucarbamba	0.00315	Acuitardo sedimentario	ATCS-pb
Fm. Huancane	0.06117	Acuífero fisurado sedimentario pobre	AFSP-hu
Fm. Pachatusan	0.02073	Acuífero fisurado pobre	AFP-m-pa
Granito	0.01359	Acuífero fisurado pobre	AFP-gr



Escala:
1:30,000



"EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA DE LA CUENCA SAN JUAN PARA PROYECTAR UN INCREMENTO DEL RECURSO HIDRICO CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN EL POBLADO DE YUCAY, URUBAMBA-CUSCO-2021"

SECCIÓN HIDROGEOLOGICA A-A'

ELABORADO POR:	SISTEMA DE COORDENADAS
Br. Melgarejo Quispe Ynga Yanet Carolina Br. Huaman Quispe Justino	Tamaño de hoja: A3
ASESORADO POR:	
Ing. Mattos Ojeda Edison Santiago	
UBICACIÓN:	
REGION CUSCO, PROVINCIA DE URUBAMBA Y DISTRITO DE YUCAY	

SEC 02