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

TESIS

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025

PRESENTADO POR:
Br. EDITH HUAMANI FLORES
Br. JHON NINA VILLENA

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO

ASESOR:
Mgt. IVAN CACERES ANGULO

CUSCO-PERÚ

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** MGT. IVAN CACERES ANGULO ..... quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA PROPONER METODO DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERONIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO - 2025

Presentado por: Edith Huamani Flores DNI N° 75213908;
presentado por: JHON NINA VILLENA DNI N°: 73803471
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en 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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 02 de OCTUBRE de 2026

Firma

Post firma Ing. Ivan Caceres Angulo

Nro. de DNI 23948756

ORCID del Asesor 0000-0003-1959-3275

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:631844126

TESIS Jhon Nina, Edith Huaman.pdf

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:631844126

Fecha de entrega
29 sep 2026, 5:24 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
29 sep 2026, 5:33 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS Jhon Nina, Edith Huaman.pdf

Tamaño del archivo
63.8 MB

308 páginas

69.354 palabras

359.631 caracteres

8% Similitud general

El nombre combinado de todas las coincidencias: un trabajo del estudiante, una entrega de tarea

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 30 palabras)

Fuentes principales

7% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
38 caracteres sospechosos en N.° de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto

Texto oculto
7 caracteres sospechosos en N.° de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

INDICE

RESUMEN ..... **xiii**

ABSTRACT ..... **xiv**

INTRODUCCIÓN ..... **xv**

1 CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES **1**

1.1 AREA DE ESTUDIO 1

1.1.1 UBICACIÓN POLÍTICA 1

1.2 ACCESIBILIDAD 3

1.3 ASPECTOS GEOGRÁFICOS 5

1.3.1 CLIMA 5

1.3.2 VEGETACIÓN 7

1.4 ACTIVIDADES ECONÓMICAS 10

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11

1.6 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 12

1.6.1 PROBLEMA GENERAL 12

1.6.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS 13

1.7 JUSTIFICACIÓN 13

1.8 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN 15

1.8.1 OBJETIVO GENERAL 15

1.8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

1.9 HIPÓTESIS 15

1.9.1 HIPÓTESIS GENERAL 15

1.9.2 HIPÓTESIS ESPECIFICAS 16

1.10 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS 16

1.11 BASES TEÓRICAS 23

1.12 VARIABLES 42

1.12.1 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES 42

1.12.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 43

1.13 TIPO DE INVESTIGACIÓN 44

1.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN 44

1.2 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN 44

1.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 44

1.4 ETAPAS DE TRABAJO 45

1.5 EQUIPOS Y MATERIALES 47
1.6 POBLACIÓN 49
1.7 MUESTRA 49
2 CAPITULO II: GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA 50
2.1 GEOMORFOLOGIA 50
2.1.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL 50
2.1.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL 53
2.1.2.1 PENDIENTE 60
2.2 GEOLOGÍA 63
2.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL 63
2.2.2 GEOLOGÍA LOCAL 67
2.2.2.1 DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS 74
2.2.2.2 ESTRATIGRAFIA DE LA CUENCA JOCTOPUQUIO 83
2.2.2.3 SECCIONES GEOLÓGICAS 86
2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 89
2.3.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL 89
2.3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL 90
3 CAPITULO III: HIDROLOGIA 121
3.1 UBICACIÓN HIDROGRÁFICA 121
3.2 MORFOMETRÍA DE MICROCUENCA 123
3.2.1 PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA 123
3.2.2 PARÁMETROS DE FORMA DE LA MICROCUENCA 124
3.2.3 PARÁMETROS DE RELIEVE 126
3.3 DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS 133
3.3.1 PRECIPITACIÓN 133
3.3.2 TEMPERATURA 146
3.3.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN (EVT) 149
3.3.4 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL 151
3.3.5 INFILTRACIÓN 152
3.4 BALANCE HIDROLÓGICO 153
4 CAPITULO IV: PROSPECCIÓN GEOFISICA 154
4.1 METODO GEOFISICO 154
4.2 METODOLOGIA DE ESTUDIO GEOFISICO 155

4.3 RECONOCIMIENTO DEL AREA DE ESTUDIO 156
4.4 PROCEDIEMINTO EN CAMPO 157
4.4.1 ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS 157
4.5 EQUIPOS Y MATERIALES 158
4.6 UBICACIÓN DE LINEAS DE TOMOGRAFIA ELECTRICA 159
4.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE SECCIONES DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 161
4.7.1 LINEA TOMOGRAFIA ELECTRICA L-1 161
4.7.2 LINEA TOMOGRAFIA ELECTRICA L-2 165
5 CAPITULO V: HIDROGEOLOGIA 168
5.1 INVENTARIO DE MANANTES 168
5.1.1 CALCULO DE CAUDAL DE MANANTES 170
5.2 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS 173
5.2.1 PERMEABILIDAD 173
5.2.2 POROSIDAD 184
5.2.3 TRANSMISIVIDAD 187
5.3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS 189
5.3.1 ACUÍFEROS FISURADOS SEDIMENTARIOS 189
5.3.2 ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS 191
5.4 HIDROGEOQUÍMICA 197
5.4.1 UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO 197
5.4.2 PARAMETROS FISICO-QUIMICOS 202
5.4.3 PARAMETROS QUIMICOS 206
5.4.4 BALANCE IÓNICO 208
5.4.5 DIAGRAMAS HIDROQUÍMICOS 210
6 CAPITULO VI: METODOS DE RECARGA ARTIFICIAL 218
6.1 USO DE SUELOS 218
6.2 UBICACIÓN DE AREAS DE RECARGA 223
6.3 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL 224
6.4 DISEÑO DE METODOS DE RECARGA 225
6.4.1 ZANJAS DE INFILTRACIÓN 226
6.4.2 REFORESTACION CON PLANTAS NATIVAS 234
6.4.3 DIQUES DE INFILTRACIÓN O BARRERAS DE CONTROL 235
7 CAPITULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 237

7.1 RESULTADOS 237
7.1.1 RESULTADOS PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECIFICO 237
7.1.2 RESULTADOS PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO 239
7.1.3 RESULTADOS PARA EL TERCER OBJETIVO ESPECIFICO 241
7.2 DISCUSION DE RESULTADOS 241
7.2.1 DISCUSIÓN DE RESULTADO PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECIFICO 241
7.2.2 DISCUSIÓN DE RESULTADO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO 242
7.2.3 DISCUSIÓN DE RESULTADO PARA EL TERCER OBJETIVO ESPECIFICO 243
CONCLUSIONES 245
RECOMENDACIONES 248
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 249
ANEXOS 253

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Ubicación Política de la microcuenca de Joctopuquio. 2
Figura 2 Mapa de Accesibilidad para la microcuenca de Joctopuquio 3
Figura 3 Mapa de Ubicación de la microcuenca de Joctopuquio 4
Figura 4 Mapa de Clasificación climática de la microcuenca de Joctopuquio 6
Figura 5 Vegetación presente en la microcuenca de Joctopuquio 8
Figura 6 Mapa de Cobertura vegetal de la microcuenca de Joctopuquio 9
Figura 7 Bloque diagrama esquemático de un acuífero libre parcialmente drenado por un rio 24
Figura 8 Tipos de acuíferos según su textura. 25
Figura 9 Formaciones geológicas frente al agua 27
Figura 10 Esquema de acuífero libre y confinado 28
Figura 11 Empaquetado máximo y mínimo de un medio granular homogéneo 29
Figura 12 Cuadro de permeabilidad 30
Figura 13 Materiales utilizados en el trabajo de campo realizado en la zona de estudio 49
Figura 14 Vista panorámica de la cuenca de Huatanay tomada con vista hacia el SW 51
Figura 15 Mapa de Geomorfológico Regional de la microcuenca de Joctopuquio 52
Figura 16 Cima de montaña corresponde a la cabecera de la microcuenca de Joctopuquio. 53
Figura 17 Vertiente de montaña en la parte media de microcuenca de Joctopuquio. 54
Figura 18 Vertiente o pie de monte en la parte media-baja de microcuenca de Joctopuquio. 54
Figura 19 Vertiente o pie de monte en la parte media-baja de microcuenca de Joctopuquio 55
Figura 20 Lomadas en la Roca Sedimentaria en la parte alta-media de microcuenca de Joctopuquio 56
Figura 21 Quebradas/Cárcavas en la parte media de microcuenca de Joctopuquio 56
Figura 22 Vertientes Coluviales en la parte media de microcuenca de Joctopuquio 57
Figura 23 Cauce fluvial que va desde la parte alta atreves de la microcuenca de Joctopuquio 58
Figura 24 Mapa de Geomorfológico Local de la microcuenca de Joctopuquio 59
Figura 25 Mapa de Pendiente de la microcuenca de Joctopuquio 62
Figura 26 Cauce fluvial que va desde la parte alta atreves de la microcuenca de Joctopuquio 65
Figura 27 Mapa de Geológico Regional de la microcuenca de Joctopuquio 66
Figura 28 Se muestra lineamiento de las estratificaciones de la formación Kayra 67
Figura 29 Fotografías tomadas de afloramiento en la formación Kayra 68
Figura 30 Se muestra lineamiento de las estratificaciones de la formación Soncco, también se observa muestras tomadas y se efervece debido a la cantidad de calcio 69
Figura 31 Fotografías tomadas de afloramiento y muestras en la formación Soncco 69
Figura 32 Se muestra depósitos eluviales en la cabecera de la microcuenca de Joctopuquio 70
Figura 33 Se muestra depósitos deluviales en la cabecera de la microcuenca de Joctopuquio 71
Figura 34 Se muestra depósitos deluviales en la cabecera de la microcuenca de Joctopuquio 72
Figura 35 Se muestran depósitos fluviales que atraviesan a la microcuenca de Joctopuquio 72
Figura 36 Se muestran un corte de depósitos aluviales presentes en la microcuenca de Joctopuquio 73
Figura 37 Sección A-A' de la microcuenca de Joctopuquio 84
Figura 38 Sección B-B' de la microcuenca de Joctopuquio 85
Figura 39 Mapa de Geológico Local de la microcuenca de Joctopuquio 88
Figura 40 Mapa de Estaciones geomecánicas microcuenca de Joctopuquio 96
Figura 41 Se muestra la ventana estructural FKS-001 en la microcuenca de Joctopuquio 98

Figura 42 Se muestra la ventana estructural FKS-002 en la microcuenca de Joctopuquio 99
Figura 43 Se muestra la ventana estructural FKS-003 en la microcuenca de Joctopuquio 100
Figura 44 Se muestra la ventana estructural FKS-004 en la microcuenca de Joctopuquio 101
Figura 45 Se muestra la ventana estructural FKS-005 en la microcuenca de Joctopuquio 102
Figura 46 Se muestra la ventana estructural FKM-001 en la microcuenca de Joctopuquio 103
Figura 47 Se muestra la ventana estructural FKM-002 en la microcuenca de Joctopuquio 104
Figura 48 Se muestra la ventana estructural FKB-001 en la microcuenca de Joctopuquio 105
Figura 49 Se muestra la ventana estructural FKB-002 en la microcuenca de Joctopuquio 106
Figura 50 Se muestra la ventana estructural FKB-003 en la microcuenca de Joctopuquio 107
Figura 51 Se muestra la ventana estructural FSC-001 en la microcuenca de Joctopuquio 108
Figura 52 Se muestra la ventana estructural FSC-002 en la microcuenca de Joctopuquio 109
Figura 53 Se muestra la ventana estructural FSC-003 en la microcuenca de Joctopuquio 110
Figura 54 Se muestra la ventana estructural FSC-004 en la microcuenca de Joctopuquio 111
Figura 55 Se muestra la ventana estructural FSC-005 en la microcuenca de Joctopuquio 112
Figura 56 Diagrama de interpretación de la estratificación en la Formación Kayra en la microcuenca de Joctopuquio 114
Figura 57 Diagrama de interpretación de la estratificación en la Formación Soncco en la microcuenca de Joctopuquio 116
Figura 58 Fallas encontrados en la microcuenca de Joctopuquio. 119
Figura 59 Sección de fallas encontradas en la microcuenca de Joctopuquio 120
Figura 60 Fallas encontradas en la microcuenca de Joctopuquio. 120
Figura 61 Mapa de Ubicación hidrográfica de la microcuenca de Joctopuquio. 122
Figura 62 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes en la microcuenca de Joctopuquio 129
Figura 63 Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión 130
Figura 64 Perfil del cauce principal de la microcuenca de Joctopuquio 131
Figura 65 Mapa de Parámetros morfométricos de la microcuenca de Joctopuquio 132
Figura 66 Serie histórica de precipitación de la estación Kayra periodo (1965-2024) 138
Figura 67 Serie histórica de precipitación de la estación Caycay periodo (1965-2024) 139
Figura 68 Serie histórica de precipitación de la estación Pisac periodo (1965-2024) 139
Figura 69 Diagrama de análisis de doble masa estación Kayra 141
Figura 70 Diagrama de análisis de doble masa estación Kayra 143
Figura 71 Diagrama de análisis de doble masa estación Kayra 146
Figura 72 Diagrama de Temperatura 147
Figura 73 Mapa de Precipitación y temperatura media de la microcuenca Joctopuquio. 148
Figura 74 Diagrama Balance Hídrico de la microcuenca de Joctopuquio 153
Figura 75 Diagrama Balance Hídrico de la microcuenca de Joctopuquio 155
Figura 76 Rango típico de resistividad de materiales 156
Figura 77 Ubicación de línea Tomográfica en mi microcuenca de Joctopuquio 156
Figura 78 Procedimiento para el ensayo de tomografía eléctrica. 157
Figura 79 Ubicación de línea Tomográfica en mi microcuenca de Joctopuquio 158
Figura 80 Mapa de Ubicación de líneas de tomografía eléctrica 160
Figura 81 Sección tomográfica de resistividad de la línea L1. 163
Figura 82 Sección tomográfica de resistividad de la línea L1. 164
Figura 83 Sección tomográfica de resistividad de la línea L2. 166
Figura 84 Sección tomográfica de resistividad de la línea L2. 167

Figura 85 Mapa de Ubicación de manantes de la microcuenca Joctopuquio. 169
Figura 86 Se muestra los materiales que se utilizaron para el cálculo de Caudal que son un recipiente con medida, cronometro, y una libreta de campo. 170
Figura 87 Formato de medición de caudal para la microcuenca de Joctopuquio 171
Figura 88 Categoría de manantes de la microcuenca de Joctopuquio 172
Figura 89 Características del suelo según su permeabilidad. 174
Figura 90 Esquema de campo de permeabilidad del método de Porchet de la microcuenca de Joctopuquio del punto P-01 175
Figura 91 Esquema de campo de permeabilidad del método de Porchet de la microcuenca de Joctopuquio del punto P-02 175
Figura 92 Esquema de campo de permeabilidad del método de Porchet de la microcuenca de Joctopuquio del punto P-03 176
Figura 93 Esquema de campo de permeabilidad del método de Porchet de la microcuenca de Joctopuquio del punto P-04 176
Figura 94 Resumen de permeabilidad en materiales no consolidados mediante el método de Porchet 177
Figura 95 Mapa de Ubicación de manantes de la microcuenca Joctopuquio 178
Figura 96 Valores de permeabilidad para materiales consolidados 184
Figura 97 Valores de porosidad de materiales consolidados y no consolidados 186
Figura 98 Valores de transmisividad para puntos de caudales 188
Figura 99 Acuífero fisurado sedimentario de la formación Kayra en la microcuenca de Joctopuquio 190
Figura 100 Acuífero fisurado sedimentario de la formación Soncco en la microcuenca de Joctopuquio 191
Figura 101 Acuífero poroso no consolidado coluvial en la microcuenca de Joctopuquio 192
Figura 102 Acuífero poroso no consolidado Eluvial en la microcuenca de Joctopuquio 192
Figura 103 Acuífero poroso no consolidado Deluvial en la microcuenca de Joctopuquio 193
Figura 104 Acuífero poroso no consolidado Coluvio-Deluvial en la microcuenca de Joctopuquio 193
Figura 105 Modelo conceptual del acuífero en la Microcuenca de Joctopuquio 195
Figura 106 Mapa de Unidades hidrogeológicas de la microcuenca de Joctopuquio. 196
Figura 107 Muestreo de Manantes del punto 01 y punto 02 de la microcuenca de Joctopuquio 198
Figura 108 Muestreo de Agua frías del punto 03 y punto 04 de la microcuenca de Joctopuquio 200
Figura 109 Mapa de Ubicación de puntos de muestreo de agua. 201
Figura 110 Histograma comparativo de los valores de PH de la microcuenca de Joctopuquio 203
Figura 111 Histograma comparativo de los valores de Conductividad Eléctrica de la microcuenca de Joctopuquio 204
Figura 112 Histograma comparativo de los valores de Total de Solidos Disueltos de la microcuenca de Joctopuquio 206
Figura 113 Diagraman de Sttiff para las muestras P-01 y P-02 en la microcuenca de Joctopuquio 211
Figura 114 Diagraman de Sttiff para la muestra P-03 y P-04 en la microcuenca de Joctopuquio 211
Figura 115 Diagrama de Pipper para clasificación química de las fuentes de aguas 212
Figura 116 Diagrama de Pipper de las fuentes hídricas de los puntos P -01 y P-02 microcuenca de Joctopuquio 213
Figura 117 Diagrama de Pipper de las fuentes hídricas de los puntos P -03 y P-04 microcuenca de Joctopuquio 214
Figura 118 Diagrama de Pipper de las fuentes hídricas de los puntos P -01 y P-02 microcuenca de Joctopuquio 215

Figura 119 Diagrama de Scholler-Berkaloff para la evolución de las fuentes de agua microcuenca de Joctopuquio.....216
Figura 120 Afloramientos rocosos de la Formación Kayra. 218
Figura 121 Parte alta de la cuenca donde se observa las praderas.....219
Figura 122 Vista de bofedales en la parte baja de la microcuenca Joctopuquio. 219
Figura 123 Bosques densos ubicados en la parte baja de la microcuenca de estudio.....220
Figura 124 Vista de las laderas con plantas de eucalipto. 221
Figura 125 Vista del crecimiento poblacional en la parte baja de la microcuenca. 221
Figura 126 Mapa de Uso de suelos de la microcuenca de Joctopuquio.....222
Figura 127 Tabla de valores media reducida ($\overline{Y}N$) y desviación estándar reducida (σN) 228
Figura 128 Tabla de valores para 30 datos media reducida ($\overline{Y}N$) y desviación estándar reducida (σN) ..228
Figura 129 Curvas de intensidad, duración y frecuencia. 230
Figura 130 Esquema de las dimensiones transversal de la zanja de infiltración.....230
Figura 131 Distancia entre zanjas en función a la cobertura vegetal y pendiente.....232
Figura 132 Vista de perfil de la distribución y dimensión de la zanja de infiltración. 232
Figura 133 Vista en planta de la separación entre zanjas. 233
Figura 134 Mapa de Ubicación de las áreas de recarga 236

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación Política del distrito de la microcuenca de Joctopuquio. 1
Tabla 2 Ubicación de la microcuenca de Joctopuquio..... 1
Tabla 3 Clasificación climática de la microcuenca de Joctopuquio 5
Tabla 4 Clasificación climática de la microcuenca de Joctopuquio 8
Tabla 5 Métodos geofísicos aplicados a la ingeniería geológica 33
Tabla 6 Valores de resistividad de las formaciones geológicas más comunes..... 34
Tabla 7 Clasificación índice de compacidad o índice de Gravelius..... 39
Tabla 8 Clasificación Forma de la cuenca según Horton. 40
Tabla 9 Clasificación de Índice de Alargamiento 41
Tabla 10 Clasificación de Índice de Asimétrico..... 42
Tabla 11 Operacionalización de variables 43
Tabla 12 Clasificación climática de la microcuenca de Joctopuquio 51
Tabla 13 Clasificación de pendiente de la microcuenca de Joctopuquio 60
Tabla 14 Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra KY-001 75
Tabla 15 Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra KY-002 76
Tabla 16 Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra KY-003 77
Tabla 17 Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra KY-004 78
Tabla 18 Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra SO-001..... 79
Tabla 19 Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra SO-002..... 80
Tabla 20 Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra SO-003..... 81
Tabla 21 Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra SO-004..... 82
Tabla 22 Medición de datos de estratificación de la Formación Kayra Alta de la microcuenca de Joctopuquio..... 92
Tabla 23 Medición de datos de estratificación de la Formación Kayra Baja de la microcuenca de Joctopuquio..... 93
Tabla 24 Medición de datos de estratificación de la Formación Soncco de la microcuenca de Joctopuquio..... 95
Tabla 25 Resumen de ventanas estructurales en la microcuenca de Joctopuquio..... 117
Tabla 26 Clasificación Otto Pfafstetter en la microcuenca de Joctopuquio. 121
Tabla 27 Parámetros físicos en la microcuenca de Joctopuquio..... 124
Tabla 28 Clasificación índice de compacidad o índice de Gravelius en la microcuenca de Joctopuquio. 125
Tabla 29 Clasificación de la forma de la microcuenca de Joctopuquio. 125
Tabla 30 Clasificación de Índice de Alargamiento en la microcuenca de Joctopuquio. 125
Tabla 31 Clasificación de Índice de Asimétrico en la microcuenca de Joctopuquio..... 126

Tabla 32 Parámetros de forma de la microcuenca de Joctopuquio 126
Tabla 33 Parámetros de relieve de la microcuenca de Joctopuquio 127
Tabla 34 Pendiente de la microcuenca de Joctopuquio 128
Tabla 35 Hidrografía en la microcuenca de Joctopuquio 131
Tabla 36 Ubicación de las estaciones meteorológica 133
Tabla 37 Precipitación media anual de la estación Kayra. 135
Tabla 38 Precipitación media anual de la estación Caycay 136
Tabla 39 Precipitación media anual de la estación Pisac 137
Tabla 40 Acumulado anual de cada estación Hidrometereológica de cada estación 140
Tabla 41 Acumulado anual de cada estación Hidrometereológica de cada estación 142
Tabla 42 Cálculo de las 3 pendientes identificadas 143
Tabla 43 Precipitación acumuladas invertidas y corregidas 145
Tabla 44 Temperatura media mensual 146
Tabla 45 Evapotranspiración potencial de la microcuenca de Joctopuquio 151
Tabla 46 Balance Hídrico de la microcuenca de Joctopuquio 153
Tabla 47 Inventario de fuentes de agua en la microcuenca de Joctopuquio. 168
Tabla 48 Clasificación de manantes por su productividad 172
Tabla 49 Abertura de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Soncco 180
Tabla 50 Espaciado de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Soncco 180
Tabla 51 Coeficiente de permeabilidad la microcuenca de Joctopuquio en la formación Soncco 180
Tabla 52 Abertura de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Superior 181
Tabla 53 Espaciado de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Superior 181
Tabla 54 Coeficiente de permeabilidad la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Superior 181
Tabla 55 Abertura de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Medio 182
Tabla 56 Espaciado de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Medio 182
Tabla 57 Coeficiente de permeabilidad la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Medio 182
Tabla 58 Abertura de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Bajo 183
Tabla 59 Espaciado de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Bajo 183
Tabla 60 Coeficiente de permeabilidad la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Bajo 183
Tabla 61 Resumen de permeabilidad Efectiva de las formaciones geológicas 184
Tabla 62 Resumen de la trasmisibilidad en la microcuenca de Joctopuquio. 188
Tabla 63 Unidades hidrogeológicas en la microcuenca de Joctopuquio 194
Tabla 64 Parámetros físico- químicos y parámetros químicos del punto 01 y punto 02 en la microcuenca de Joctopuquio 198
Tabla 65 Parámetros físico- químicos y parámetros químicos del punto 03 y punto 04 en la microcuenca de Joctopuquio 199
Tabla 66 Medición de PH en el punto 01 y punto 02 en la microcuenca de Joctopuquio 202
Tabla 67 Medición de PH en el punto 03 y punto 04 en la microcuenca de Joctopuquio 202
Tabla 68 Medición de Conductividad Eléctrica en el punto 01 y punto 02 en la microcuenca de Joctopuquio 203
Tabla 69 Medición de Conductividad Eléctrica en el punto 03 y punto 04 en la microcuenca de Joctopuquio 204
Tabla 70 Medición de SDT en el punto 01 y punto 02 en la microcuenca de Joctopuquio 205
Tabla 71 Medición de SDT en el punto 03 y punto 04 en la microcuenca de Joctopuquio 205

Tabla 72 Resultados de los Parámetros Químicos de la muestra P-01 en la microcuenca de Joctopuquio 206
Tabla 73 Resultados de los Parámetros Químicos de la muestra P-02 en la microcuenca de Joctopuquio 207
Tabla 74 Resultados de los Parámetros Químicos de la muestra P-03 en la microcuenca de Joctopuquio 207
Tabla 75 Resultados de los Parámetros Químicos de la muestra P-04 en la microcuenca de Joctopuquio 208
Tabla 76 Resultados de los Balance Iónico de la muestra P-01 en la microcuenca de Joctopuquio..... 209
Tabla 77 Resultados de los Balance Iónico de la muestra P-02 en la microcuenca de Joctopuquio..... 209
Tabla 78 Resultados de los Balance Iónico de la muestra P-03 en la microcuenca de Joctopuquio..... 209
Tabla 79 Resultados de los Balance Iónico de la muestra P-04 en la microcuenca de Joctopuquio..... 210
Tabla 80 Resumen de Parámetros químicos (meq/L) en la microcuenca de Joctopuquio 210
Tabla 81 Selección de Métodos de Recarga 224
Tabla 82 Precipitaciones máximas tomados por la estación Kayra. 226
Tabla 83 Precipitaciones máximas según los periodos de retorno. 229
Tabla 84 Tabla de precipitaciones máximas de la Estación Kayra 229
Tabla 85 Tabla de intensidades máximas (mm/h) de la Estación Kayra..... 229
Tabla 86 Dimensiones de las zanjas de infiltración. 231
Tabla 87 Recarga efectiva con la propuesta de zanjas de infiltración. 233
Tabla 88 Especies nativas de plantas para la reforestación de la microcuenca de Joctopuquio 234

RESUMEN

El trabajo de investigación "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO – 2025", tuvo como objetivo proponer métodos de recarga artificial del acuífero, a través de las características hidrogeológicas presentes en la microcuenca de Joctopuquio.

La investigación desarrollada es de tipo aplicada con un diseño no experimental. Para el desarrollo del estudio hidrogeológico se realizaron análisis de unidades geomorfológicas y geológicas donde nos permitieron identificar los depósitos cuaternarios y formaciones geológicas fracturadas que ayudan en la infiltración y almacenamiento de las aguas subterráneas. El análisis estructural de las formaciones rocosas se identificaron familias de fracturas y fallas locales que están relacionadas a la falla regional Tambomachay. Los ensayos de permeabilidad en depósitos cuaternarios presentaron valores de permeabilidad de 2.68 a 19.81 m/día clasificándolos como acuíferos porosos. Las formaciones Kayra y Soncco presentaron una permeabilidad 112.12 a 24.43 m/día considerándolos como acuíferos fisurados. El estudio geofísico de las 2 líneas de tomografía eléctrica, se evidenciaron bajas resistividades en zonas saturadas y fracturadas relacionadas a sistemas de fallas locales y regionales. Por otro lado, el análisis químico de los mamantes es aptos para el consumo humano.

En base a los estudios realizados, se determinaron áreas aptas para la implementación de zanjas de infiltración en sectores de moderada permeabilidad, y reforestación con plantas nativas en sectores de baja a moderada permeabilidad.

Palabras clave: Recarga artificial, Hidrogeología, Agua subterránea, Acuífero.

ABSTRACT

The research project "HYDROGEOLOGICAL STUDY TO PROPOSE METHODS FOR ARTIFICIAL AQUIFER RECHARGE IN THE JOCTOPUQUIO MICRO-WATERSHED IN THE DISTRICT OF SAN JERÓNIMO, CUSCO PROVINCE, CUSCO DEPARTMENT – 2025", aimed to propose methods for artificial aquifer recharge, based on the hydrogeological characteristics of the Joctopuquio micro-basin.

This is an applied research study with a non-experimental design. As part of the hydrogeological study, analyses of geomorphological and geological units were carried out, enabling us to identify Quaternary deposits and fractured geological formations that aid in the infiltration and storage of groundwater. Structural analysis of the rock formations identified families of fractures and local faults that are related to the Tambomachay regional fault. Permeability tests on Quaternary deposits yielded permeability values ranging from 2.68 to 19.81 m/day, classifying them as porous aquifers. The Kayra and Soncco formations exhibited permeability values ranging from 112.12 to 24.43 m/day, classifying them as fissured aquifers. The geophysical survey of the two electrical tomography lines revealed low resistivities in saturated and fractured zones associated with local and regional fault systems. Furthermore, chemical analysis of the springs indicates that the water is suitable for human consumption.

Based on the studies carried out, areas suitable for the installation of infiltration ditches were identified in areas of moderate permeability, and areas suitable for reforestation with native plants were identified in areas of low to moderate permeability.

Keywords: Artificial recharge, Hydrogeology, Groundwater, Aquifer.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en la ciudad Cusco, el recurso hídrico ha sido un tema muy tratado debido al incremento de la población que generó mayor demanda de este recurso ante esta problemática, la recarga artificial de acuíferos se presenta como una alternativa para incrementar el almacenamiento de agua en el subsuelo y mejorar la disponibilidad hídrica durante todo el año.

En el siguiente estudio intitulado **"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO-2025".**

Se realizará con el objetivo de obtener información de la hidrogeología, proponer métodos de recarga artificial en el acuífero de la Formación Kayra, que nos permitan mejorar la gestión de aguas superficiales para la mejora del área de recarga de aguas subterráneas y conocer la calidad de agua subterránea, lo cual ayudará a mitigar la escasez hídrica para así cubrir la necesidad de agua a los pobladores que viven en la quebrada Joctopuquio y zonas aledañas, distrito de San Jerónimo.

La presente tesis se encuentra estructurada en siete capítulos. El Capítulo I, Aspectos generales, comprende el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación de la investigación, el marco teórico y los antecedentes relacionados con la hidrogeología y la recarga artificial de acuíferos. El Capítulo II desarrolla la geomorfología y geología de la microcuenca de Joctopuquio, describiendo sus principales características fisiográficas y geológicas. El Capítulo III aborda la hidrología de la microcuenca, considerando el análisis de sus principales características y parámetros hidrológicos. El Capítulo IV presenta la prospección geofísica realizada en el área de estudio, detallando la metodología aplicada y los resultados obtenidos. El Capítulo V expone la

caracterización hidrogeológica de la microcuenca de Joctopuquio, considerando la identificación y análisis de las unidades hidrogeológicas y el comportamiento de los acuíferos presentes en el área de estudio. El Capítulo VI describe los métodos de recarga artificial de acuíferos propuestos para la microcuenca de Joctopuquio, tomando en consideración sus condiciones geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas. El Capítulo VII presenta la discusión de los resultados obtenidos en la investigación. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, elaboradas en función de los objetivos planteados y de los resultados obtenidos.

La microcuenca no cuenta con una información detallada de la hidrogeología, lo cual proporciona una base técnica para la implementación de medidas de recarga artificial de acuíferos en la microcuenca que proporciona una base técnica para la implementación de medidas de recarga artificial de acuíferos en la microcuenca, debido a que contará con un mapeo geológico, estudios geofísicos que nos permitirá conocer el comportamiento y dirección del flujo de agua subterránea. contribuyendo a la gestión sostenible de los recursos hídricos.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 AREA DE ESTUDIO

1.1.1 UBICACIÓN POLÍTICA

Políticamente la microcuenca de Joctopuquio se encuentra ubicado dentro del distrito de San Jerónimo, provincia Cusco y departamento de Cusco.

Tabla 1

Ubicación Política del distrito de la microcuenca de Joctopuquio.

UBICACIÓN POLÍTICA	
REGIÓN	Cusco
PROVINCIA	Cusco
DISTRITO	San Jerónimo
SECTOR	Angostura

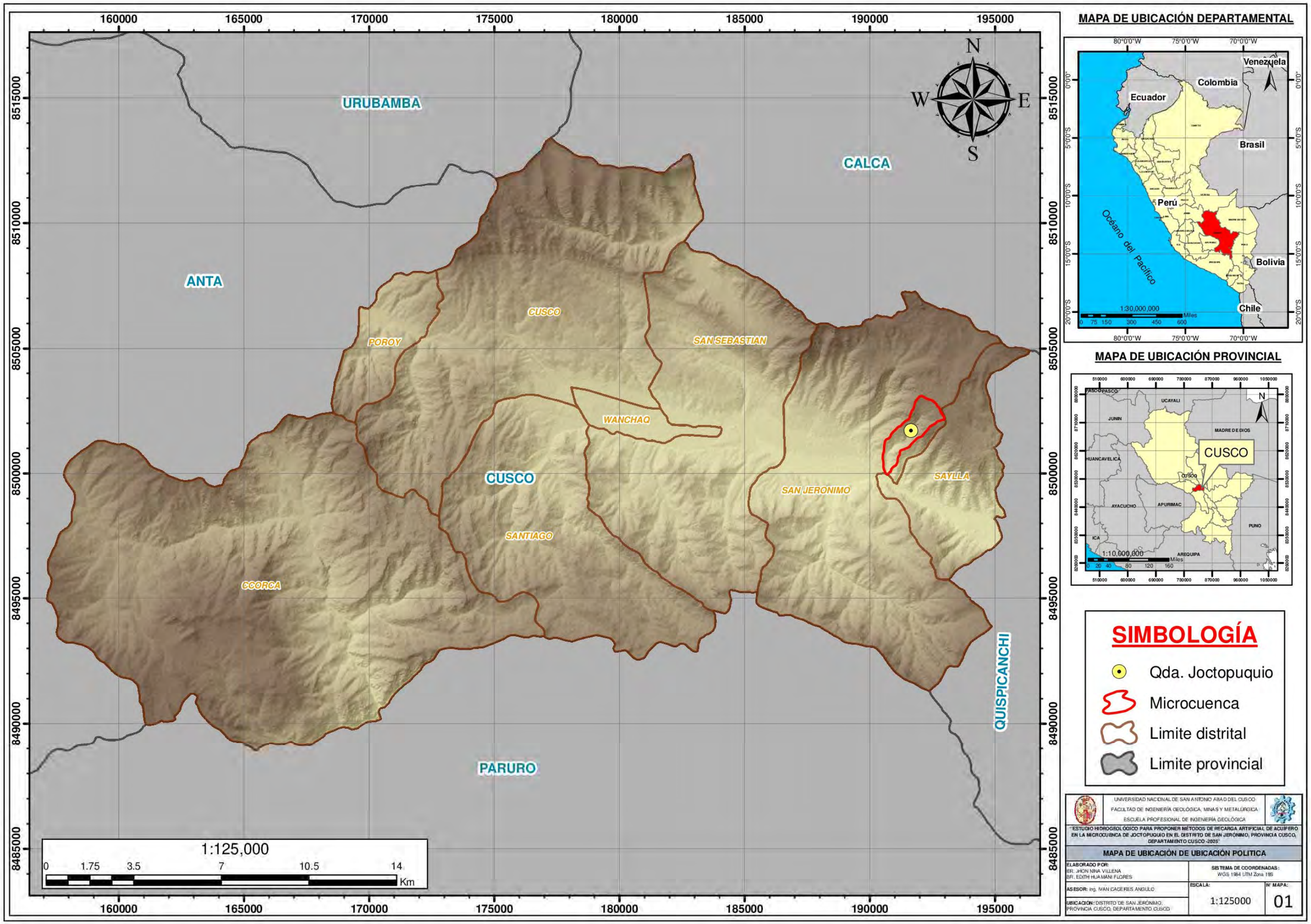
Geográficamente la microcuenca de Joctopuquio se encuentra ubicado a 16.3 km SE desde el centro histórico del Cusco, cuyos datos del centro de gravedad de la microcuenca, están registrados en proyección WGS84, franja 19L tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2

Ubicación de la microcuenca de Joctopuquio

Coordenadas geográficas		**Coordenada UTM**		**Altitud media**
Latitud sur	Longitud oeste	Este	Norte	msnm
13°31´53.17"	71°50´55.85"	191623.595	8501699.146	3799.9

Figura 1 *Mapa de Ubicación Política de la microcuenca de Joctopuquio.*



Nota: Adaptado del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2025)

1.2 ACCESIBILIDAD

Para poder llegar a la zona de estudio, se tiene los siguientes accesos:

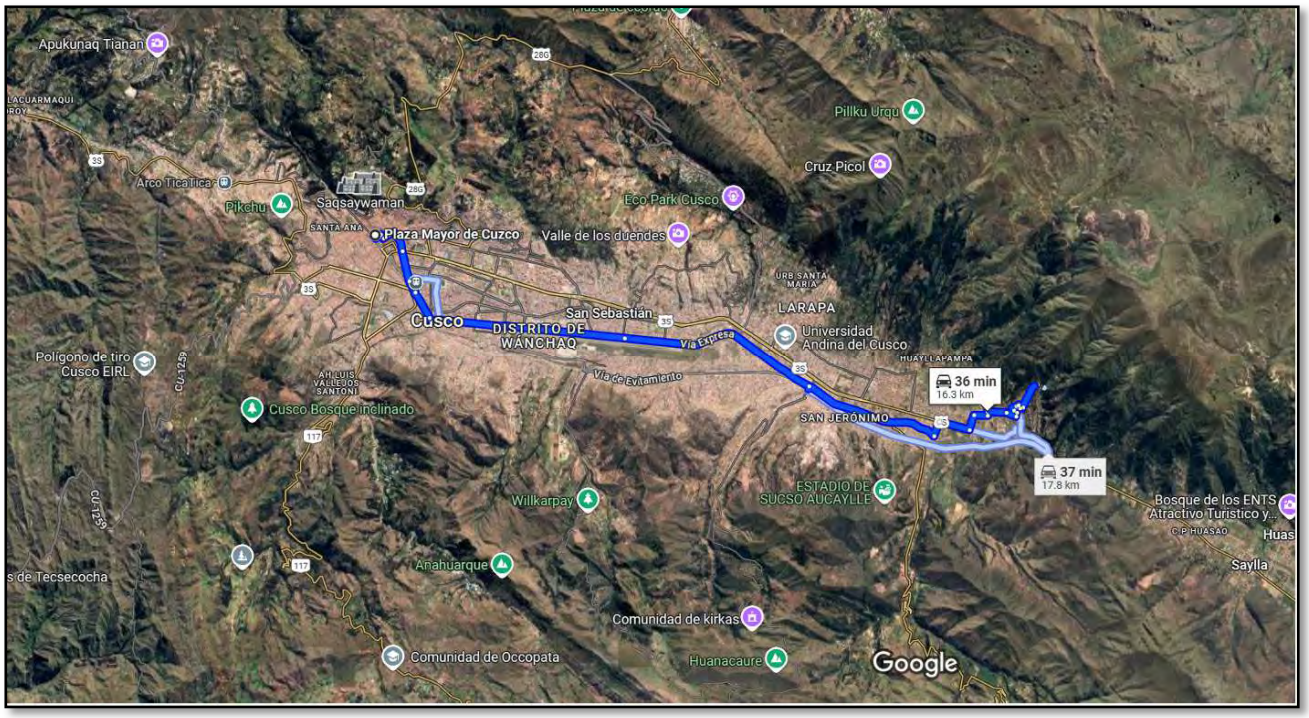
- Vía expresa (Plaza de Armas - Universidad Continental)
- Vía afirmada (Universidad Continental - Puente Mirador)

También se cuenta con dos vías de acceso dentro y al borde de la cuenca:

- Camino de herradura (bordea la cuenca)
- Trocha carrozable

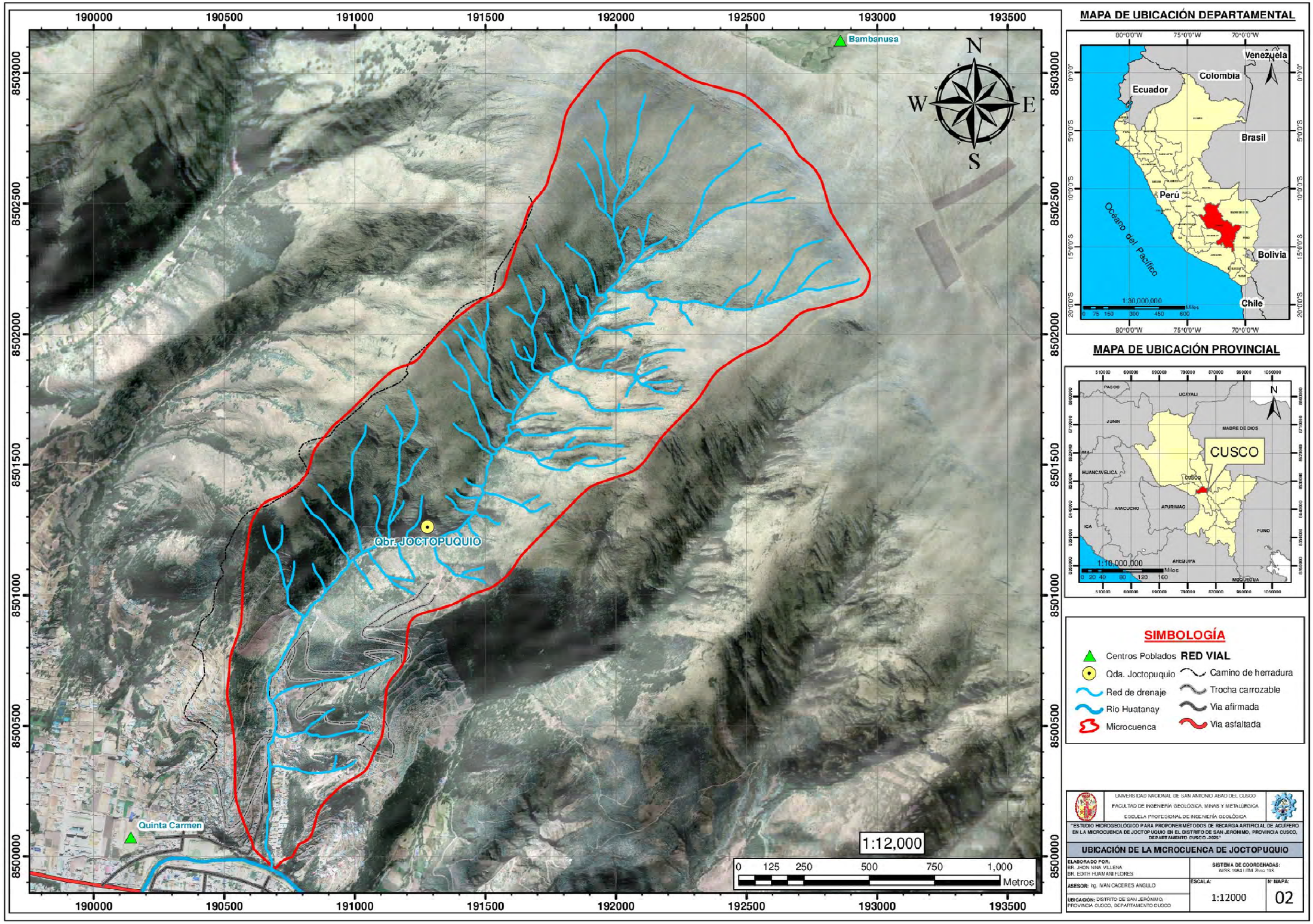
Figura 2

Mapa de Accesibilidad para la microcuenca de Joctopuquio



Nota: Adaptado Google Maps (Google, 2025)

Figura 3 *Mapa de Ubicación de la microcuenca de Joctopuquio*



Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

1.3 ASPECTOS GEOGRÁFICOS

1.3.1 CLIMA

Según el Mapa de Clasificación Climática del Perú (SENAMHI, 2021) desarrollado a través del Sistema de Clasificación de Climática de C. W. Thornthwaite, En el departamento de Cusco se caracteriza por presentar 16 tipos de climas de las cuales en la provincia de Cusco se encuentran 4 climas las cuales son: semiseco con invierno seco ,templado con 1% con un área de 3.1 Km2; Lluvioso con otoño e invierno secos, frío este clima es el más predominante en la región de cusco con un 73% con un área de 390.1 km2; Semiseco con otoño e invierno secos, Templado con 15% con un área de 78.4 Km2; Semiseco con otoño e invierno secos, frio con 11% con un área de 58.7 Km2. Según la estación Granja Kayra en la provincia de Cusco, la temperatura máxima es de 23.5 C° y la temperatura mínima es de 3.3 C°.

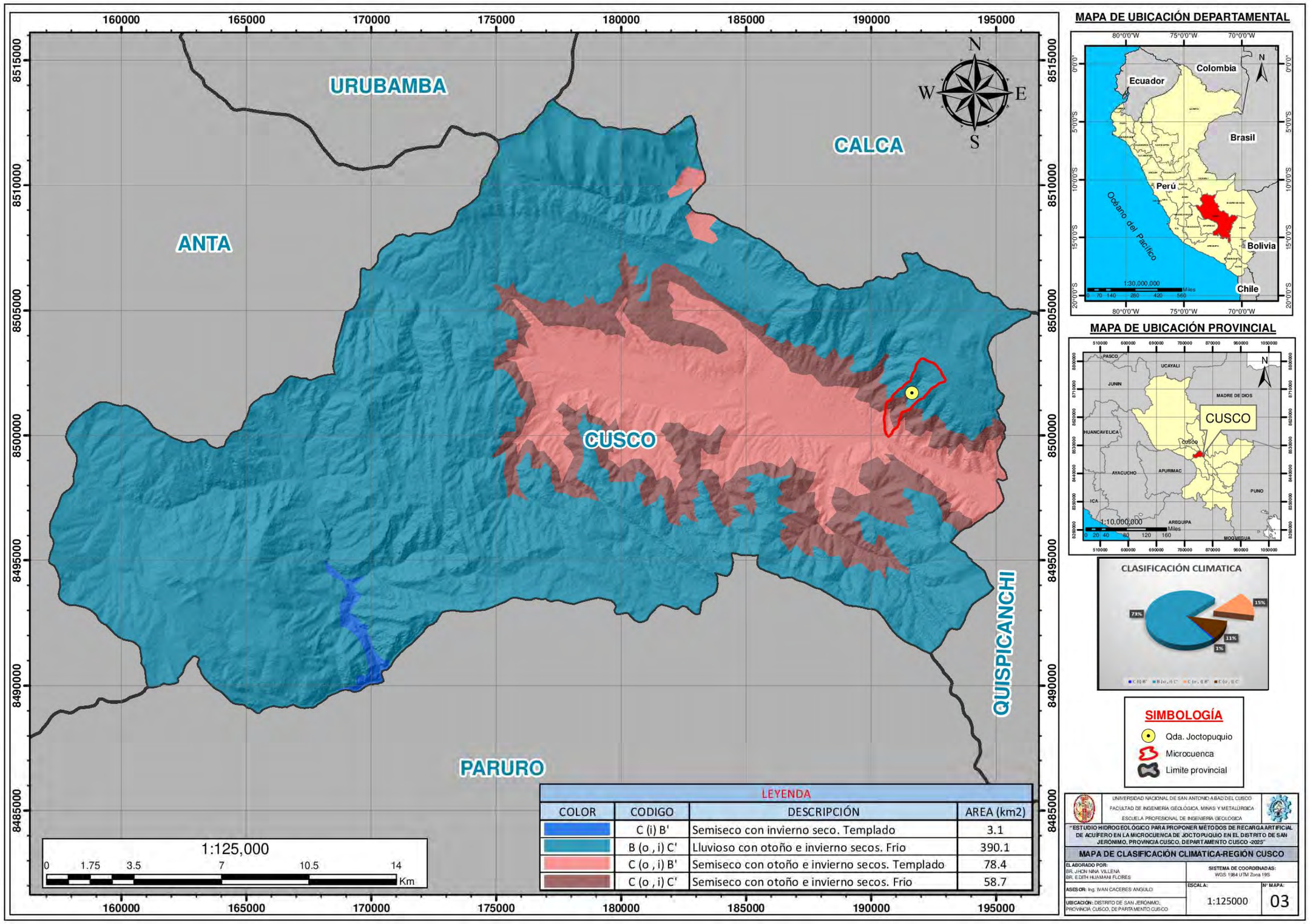
En la Ciudad de Cusco se características por presentar dos climas donde, la temporada de lluvia inicia en el mes de noviembre hasta el mes de abril. El mes mayo a octubre son los meses donde empiezan las heladas y la temperatura aumenta considerablemente desde las primeras horas de la mañana hasta el mediodía donde los días soleados se alcanzan los 23.5 ℃.

Tabla 3

Clasificación climática de la microcuenca de Joctopuquio

LEYENDA		
CODIGO	**DESCRIPCIÓN**	**AREA (km2)**
C (i) B'	Semiseco con invierno seco. Templado	3.1
B (o, i) C'	Lluvioso con otoño e invierno secos. Frio	390.1
C (o, i) B'	Semiseco con otoño e invierno secos. Templado	78.4
C (o, i) C'	Semiseco con otoño e invierno secos. Frio	58.7

Figura 4 *Mapa de Clasificación climática de la microcuenca de Joctopuquio*



Nota: Adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2025)

1.3.2 VEGETACIÓN

En la región de Cusco se caracteriza por presentar 7 cobertura vegetal las cuales son : Agricultura costera y andina con un área de 3250.00 ha que es el 6.13%, Área Urbana con un área de 3553.25 ha que es el 6.70%, bofedales con un área de 318.45 ha que es el 0.6% , Lagunas, lagos y cochas con un área de 5.82 ha que es el 0.01 %, Matorral arbustivo con un área de 19758.29 ha que es el 37.27 % , Pajonal andino con un área de 23721.05 ha que es el 44.74 %, Plantación Forestal cuenta con un área de 2411.48 ha que es el 4.55 %.

En nuestra zona de estudio se encuentran 3 coberturas vegetales las cuales son:

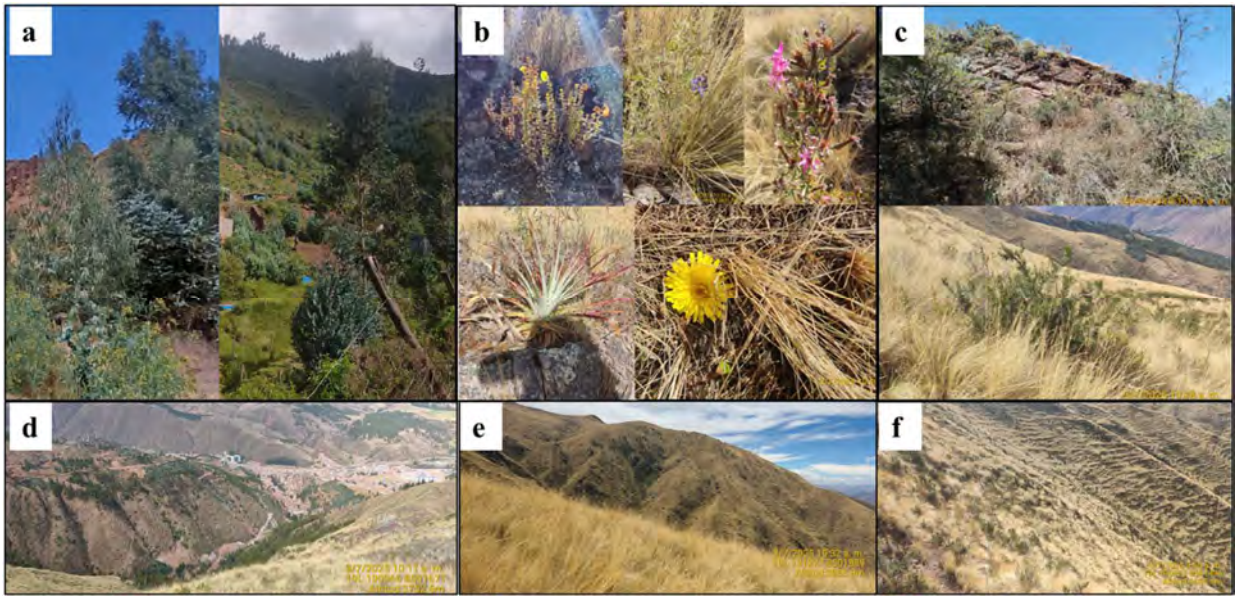
Pajonal andino: Este tipo de cobertura vegetal está conformado mayormente por Ichu o paja (hierbas en forma de manojos de hasta 50 a 60 cm aprox. de alto), llallí, tola, ubicado en la parte superior de nuestra zona de estudio, aproximadamente entre 3900 y 4200 m. s. n. m.

Matorral arbustivo: Este tipo de cobertura está constituida por arbustos perennifolios y espinosos como tayanco, mutuy, etc. Este constituye un recurso importante para la población, ya que pueden ser usada como plantas medicinales. Asimismo, se ubica en tierras con actividad forestal y en tierras de protección, que está conformado por otras especies de arbustos y arboles nativos, desde aproximadamente 3600 hasta 3900 m. s. n. m.

Plantación Forestal: Esta cobertura corresponde a todas las áreas reforestadas ubicadas en tierras con capacidad forestal que se encuentra reforestada de árboles tales como el eucalipto y el pino, que van desde aproximadamente 3300 a 3600 m. s. n. m.

Figura 5

Vegetación presente en la microcuenca de Joctopuquio



Nota. a) plantación forestal de eucaliptos por la parte baja de la zona, b) pajonal andino se muestra plantas como Ichu arbustos espinosos pequeños como llawlli, c) matorral arbustivo constituida por arbustos perennifolios espinosos como, tayanco, tola, mutuy etc.

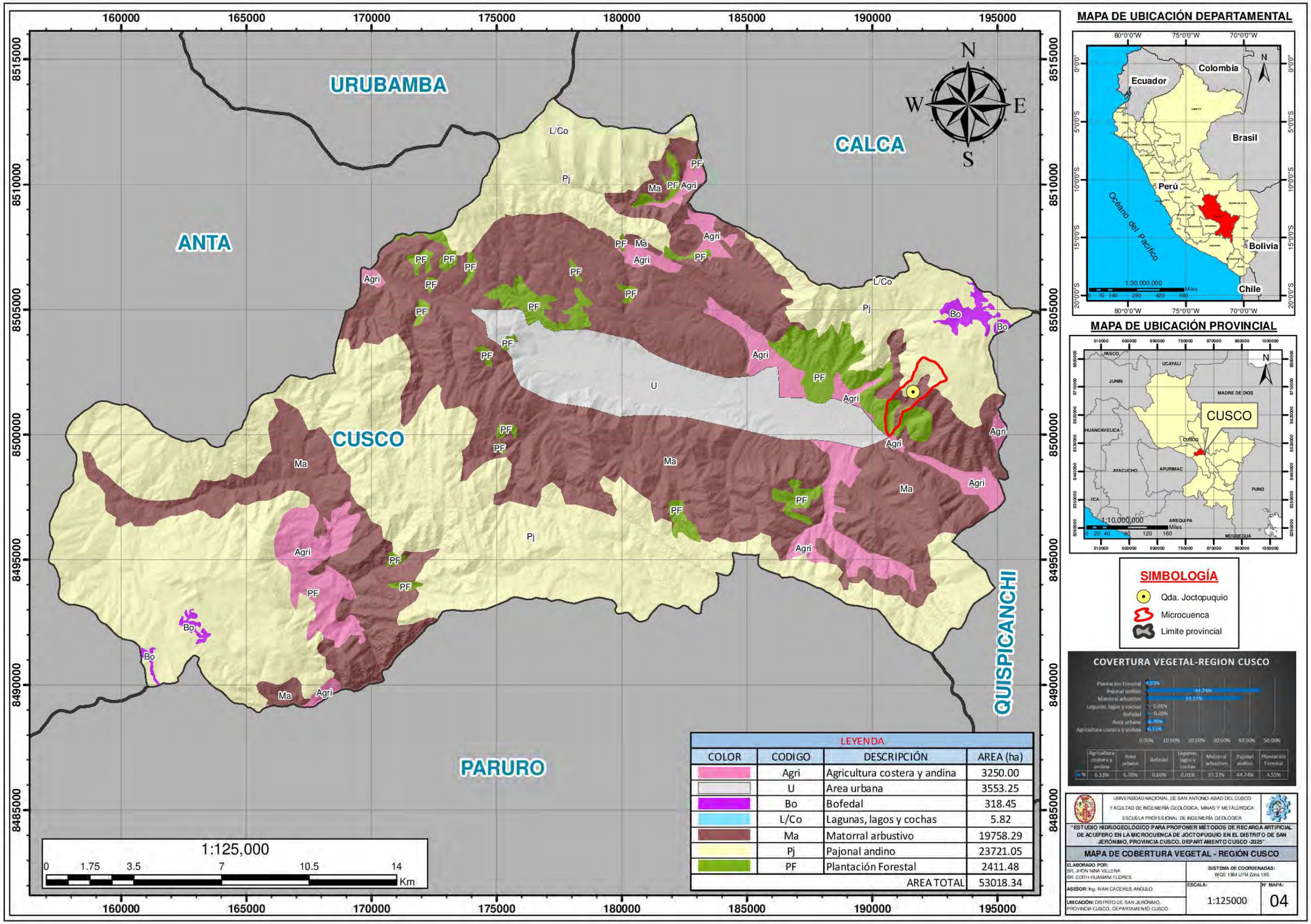
Tabla 4

Clasificación climática de la microcuenca de Joctopuquio

LEYENDA		
CODIGO	**DESCRIPCIÓN**	**AREA (ha)**
Agri	Agricultura costera y andina	3250.00
U	Área urbana	3553.25
Bo	Bofedal	318.45
L/Co	Lagunas, lagos y cochas	5.82
Ma	Matorral arbustivo	19758.29
Pj	Pajonal andino	23721.05
PF	Plantación Forestal	2411.48
	AREA TOTAL	53018.34

Figura 6

Mapa de Cobertura vegetal de la microcuenca de Joctopuquio



Nota: Adaptado del Ministerio del Ambiente. (2015)

1.4 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

En el distrito de San Jerónimo los principales indicadores económicos son: comercio, agrícola, pecuario, turismo, sector financiero, donde la población es parte de un entorno laboral como trabajador remunerado o trabajador independiente. La ocupación Principal del distrito de San Jerónimo es el comercio.

Actividad agrícola

El distrito de San Jerónimo cuenta con 1142.72 hectáreas aptas para el cultivo que es el 11% del área de distrito de San Jerónimo, donde los suelos son tierras aptas para el cultivo de Cholo, papa, cebada, cebolla, zanahoria y demás cultivos, las zonas agrícolas generalmente se encuentran ubicadas en las zonas rurales del distrito, debido al crecimiento urbano la agricultura se vio afectada.

Actividades pecuarias

En los últimos años en el distrito de san jerónimo la crianza de animales se ha estado desarrollando en la crianza de cuyes y gallinas, reduciendo los animales como vacunos y ovinos debió a que ha ido reduciendo el terreno para la crianza de estas especies, ocasionadas por el crecimiento poblacional de San Jerónimo.

Actividades de comercio

En el distrito de San Jerónimo la actividad comercial es la más representativa del distrito debido a que San jerónimo cuenta con 812 establecimientos de comercio con permisos vigentes y en mayor cantidad de establecimientos comerciales sin autorización, en el distrito de San Jerónimo se encuentra el central de abastecimiento mercado Vinocanchón siendo unos de los más principales

de Cusco, los establecimiento como los hoteles, restaurantes, bar, quintas que generan una gran comercialización para el distrito de San Jerónimo.

Actividades culturales y turismo

El turismo en el distrito de San Jerónimo es de gran interés ya que cuentan con sitios arqueológicos como: Kallapampa, Huaccoto, Mesapata, Chimparakay, Puscar, Ccontaymoqo, Racayracayniyoq, los templos de San Jerónimo de Oma y Lircaypata y diferentes casas hacienda de Rinconada, Picol, Larapa y Larapita, Concebidayoq, Wacapunqo, Mamatunya, Minaywarmi, Buena Vista, Checollo, Huayllapampa, Angostura y Andenes de Patapata.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La hidrogeología “es una rama parte de la Hidrología que corresponde al estudio del almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, su relación con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre” (Custodio & Llamas, 1983).

El calentamiento global genera inundaciones y sequias debido al aumento de la temperatura y modificando el ciclo del agua en distintas partes del planeta, acelerando tanto la escasez de agua como los peligros relacionados con este recurso (ONU, 2023).

Perú posee 68 % de los glaciares tropicales del planeta, de los cuales ha perdido más de la mitad en los últimos 60 años debido al cambio climático. Los ubicados en Cusco han sido de los más afectados. (Jara, 2023)

En el distrito de San Jerónimo, el crecimiento de la población y la mayor demanda de agua para consumo humano y actividades agrícolas han incrementado la necesidad de aprovechar

nuevas fuentes de abastecimiento. Por ello, se han desarrollado estudios hidrogeológicos direccionados al aprovechamiento de las aguas subterráneas mediante galerías filtrantes construidas sobre acuíferos fisurados, con la finalidad de complementar el suministro de agua para la población. (Carlotto, y otros, 2008)

Sin embargo, en la microcuenca de Joctopuquio se ha observado una disminución progresiva del caudal en algunas captaciones de agua subterránea. Este caso estaría relacionado con la reducción de la recarga natural del acuífero, la variabilidad climática y el incremento de la demanda hídrica, factores que afectan la disponibilidad del recurso y generan la necesidad de adoptar medidas que permitan mejorar la infiltración del agua hacia el subsuelo.

Ante esta problemática, resulta necesario realizar un estudio hidrogeológico que permita identificar las zonas con mejores condiciones para la recarga del acuífero y, en ese sentido, proponer métodos de recarga artificial acordes con las características de la microcuenca. Entre las alternativas consideradas se encuentran la reforestación con especies nativas en sectores de baja permeabilidad y la construcción de zanjas de infiltración en áreas con mayor capacidad de infiltración, con el propósito de favorecer la recarga de las aguas subterráneas, contribuir a la conservación del recurso hídrico y mejorar su disponibilidad para la población del distrito de San Jerónimo.

1.6 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.6.1 PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera las características hidrogeológicas de la zona, nos permitirán proponer métodos de recarga artificial de los recursos hídricos en la microcuenca de Joctopuquio en el distrito de San Jerónimo, provincia Cusco, departamento Cusco?

1.6.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son las características geomorfológicas, geológicas y estructurales para proponer métodos de recarga artificial en la microcuenca Joctopuquio?
- ¿Cuáles son las características hidrológicas, geofísicas y hidrogeoquímica para proponer métodos de recarga artificial en la microcuenca Joctopuquio?
- ¿Cuáles son los métodos de recarga artificial adecuados para incrementar la infiltración y favorecer la recarga del acuífero en la microcuenca Joctopuquio?

1.7 JUSTIFICACIÓN

A. CONVENIENCIA

Este estudio se realizó debido a la necesidad de contar con información hidrogeológica que permita comprender el comportamiento de las aguas subterráneas en la microcuenca de Joctopuquio. La disminución del caudal en algunas captaciones durante los periodos de sequía muestra la importancia de implementar medidas que contribuyan a incrementar la recarga del acuífero. Por lo que, el estudio permitirá caracterizar las condiciones hidrogeológicas del área y proponer métodos de recarga artificial, como la reforestación con especies nativas y las zanjas de infiltración, orientados a favorecer la infiltración de las aguas pluviales y mejorar la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo.

B. RELEVANCIA SOCIAL

La disponibilidad de agua constituye un factor esencial para el desarrollo de la población y sus actividades productivas. La presente investigación beneficiará principalmente a los habitantes de la comunidad de Ccollana, Kallampata y los predios de Angostura, quienes dependen

del recurso hídrico proveniente de la microcuenca de Joctopuquio. La propuesta de métodos de recarga artificial contribuirá a fortalecer la disponibilidad de agua subterránea, promoviendo un mejor aprovechamiento de las aguas de lluvia y favoreciendo la sostenibilidad del recurso hídrico.

C. IMPLICANCIAS PRACTICAS

El distrito de San Jerónimo obtiene aproximadamente el 85 % del abastecimiento de agua potable del sistema Vilcanota, administrado por la EPS SEDA Cusco, mientras que el 15 % restante proviene de manantiales administrados por la Municipalidad Distrital de San Jerónimo. En este contexto, esta investigación proporcionará una propuesta técnica de métodos de recarga artificial adaptados a las condiciones hidrogeológicas de la microcuenca de Joctopuquio. Asimismo, la información obtenida mediante los estudios geológicos, geofísicos, hidrogeológicos e hidroquímicos permitirá comprender el comportamiento del acuífero y servirá de base para la planificación de futuras intervenciones orientadas a la gestión sostenible de las aguas subterráneas.

D. UTILIDAD METÓDICA

La microcuenca de Joctopuquio presenta información hidrogeológica limitada; por ello, la presente investigación generará una base técnica que podrá ser utilizada en futuros estudios y proyectos relacionados con el aprovechamiento y la gestión de las aguas subterráneas. Además, el estudio proporcionará cartografía geológica, geomorfológica e hidrogeológica, resultados de prospección geofísica, análisis hidroquímicos y la delimitación de zonas con potencial de recarga, constituyendo una fuente de información para investigaciones posteriores y para la toma de decisiones por parte de las instituciones competentes.

1.8 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.8.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio hidrogeológico integral para proponer métodos de recarga artificial del acuífero en la microcuenca de Joctopuquio en el distrito de San Jerónimo, provincia Cusco, departamento Cusco.

1.8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características geomorfológicas, geología y estructurales para determinar el comportamiento del acuífero y proponer métodos de recarga artificial en la microcuenca Joctopuquio en el distrito de San Jerónimo, provincia Cusco, departamento Cusco.
- Determinar los parámetros hidrológicos, geofísicos y hidrogeoquímica para proponer métodos de recarga artificial en la microcuenca Joctopuquio en el distrito de San Jerónimo, provincia Cusco, departamento Cusco.
- Proponer métodos de recarga artificial de acuíferos en la microcuenca Joctopuquio en el distrito de San Jerónimo, provincia Cusco, departamento Cusco.

1.9 HIPÓTESIS

1.9.1 HIPÓTESIS GENERAL

En la microcuenca de Joctopuquio, el estudio hidrogeológico del acuífero Kayra permitirá determinar técnica, espacial y cualitativamente los métodos de recarga artificial, como la implementación de zanjas de infiltración y la reforestación con especies nativas, con el propósito de incrementar la infiltración de las aguas pluviales hacia el acuífero. Estas medidas contribuirán

a mejorar la recarga hídrica subterránea y favorecerán el incremento del caudal en los puntos de descarga.

1.9.2 HIPÓTESIS ESPECIFICAS

- La presencia de unidades geomorfológicas con pendientes moderadas y de unidades geológicas sedimentarias intensamente fracturadas por estructuras regionales y locales condiciona la infiltración de las aguas meteóricas y el almacenamiento de las aguas subterráneas en la porosidad secundaria de las rocas de la microcuenca de Joctopuquio.

- La evaluación de los parámetros hidrológicos, geofísicos e hidrogeoquímica permite caracterizar las condiciones hidrogeológicas de la microcuenca e identificar acuíferos porosos no consolidados y acuíferos fisurados en rocas sedimentarias.

- Las zanjas de infiltración y la reforestación con especies nativas constituyen métodos de recarga artificial adecuados para incrementar la infiltración de las aguas meteóricas, favorecer la recarga del acuífero y mejorar la conservación de la humedad del suelo en la microcuenca de Joctopuquio.

1.10 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS

A. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Ant.1 (Triviño Serrato & Chinchilla Martínez, 2021) Universidad De Caldas – Colombia; **Tesis:** "Monitoreo de manantiales para estudios hidrogeológicos en zonas de montaña. Aplicación en la microcuenca de la Quebrada El Perro, Manizales-Colombia". El estudio tiene como objetivo determinar las características geológicas e hidrogeológicas de la zona, analizar la propiedad básica del agua subterránea y su variación temporal, así como también determinar las propiedades

hidráulicas de las unidades acuíferas. La metodología comprendida consistió en la búsqueda de información de la zona de estudio, creación de hietogramas para realizar sus monitoreos (correlación precipitación vs caudal), caracterización litológica y estructural, caracterización de caudal y parámetros hidroquímico y finalmente tener las propiedades hidráulicas de las unidades acuíferas. Los resultados permitieron identificar 5 formaciones consideradas como acuíferos y solo una como acuitardo debido a la presencia de finos (arcillas), y que la geología estructural es muy importante para el flujo de agua subterránea. El miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande es uno de los principales acuíferos con afloraciones de manantes con porosidad secundaria (fracturas).

Este antecedente aporta a esta investigación, debido a que permite sustentar la importancia de analizar la litología, las fracturas y las fallas presentes en la microcuenca de Joctopuquio para entender el comportamiento del agua subterránea. En la microcuenca de Joctopuquio, la presencia de rocas fracturadas y estructuras geológicas, como fallas regionales y locales, puede favorecer la circulación y almacenamiento del agua mediante porosidad secundaria.

Ant.2 (Galván Mancilla, 2013) Universidad Autónoma De Nuevo León – México; **Tesis de maestría** "Estudio de prospección geohidrológica mediante métodos geológico-geofísicos para la prospección de aguas subterráneas en la huerta Santa Catarina, municipio de Linares, Nuevo León, México". El estudio tuvo como objetivo determinar estratos de grava mediante la resistividad del subsuelo que está relacionada a los siguientes parámetros como: tipo de suelo, presencia de fluidos, minerales, porosidad, grado de fracturamiento y saturación de agua en las rocas. En este estudio usaron el método geofísico de prospección geoeléctrico (tomografía geoeléctrico) para obtener 3 perfiles Geoeléctricos y ver que zonas son recomendables para la perforación de pozos y poder extraer el agua subterránea. Como consecuencia, obtuvieron el perfil

estratigráfico del subsuelo en especial el canal saturado de grava y dirección del flujo del agua subterránea, así como su espesor del nivel freático que oscila de 7 a 10 metros, donde solo 2 perfiles son viables para la explotación de aguas subterráneas, estas son considerados acuíferos libres por la presencia de material no consolidado y rocas fracturadas.

Esta tesis ayudo a conocer la importancia de los estudios geofísicos y conocer de mejor manera la secuencia estratigráfica, dimensionamiento de nuestro acuífero, y saber con precisión a que nivel se encuentra nuestro nivel freático y a través de que estructura se deba su surgencia de las aguas subterráneas.

Ant.3 (Izabá Ruiz, Aguirre Jiménez, & Tercero Montenegro, 2025) Regiones y Desarrollo Sustentable – Nicaragua; El articulo científico “Zonificación de recarga en agua subterránea para su protección en la microcuenca Aguas Calientes, Madriz, Nicaragua” tiene como propósito identificar y delimitar las áreas de recarga de los acuíferos debido a que el 80% de la población depende de este recurso ya sea para consumo o fines agrícolas. Por lo cual inventariaron todos los pozos junto a su nivel piezométrico, análisis de uso del suelo y capacidad de infiltración del suelo para así calcular la recarga potencial usando el balance hídrico del suelo. Donde se llegó a la conclusión que solo el 25% de la microcuenca de Aguas Calientes son consideradas áreas de recarga alta, y esto por el cambio de uso de suelo, provocado por los cultivos y pisoteo de animales que influyen de gran manera en la capacidad infiltración del suelo.

Esta tesis nos ayudó a conocer la importancia de considerar el uso del suelo, la capacidad de infiltración e identificar y delimitar zonas con potencial de recarga para la infiltración de las aguas meteóricas y su almacenamiento. Por lo tanto, actividades como la agricultura y pastoreo de animales en estas áreas limitan la infiltración de las aguas meteóricas por tal motivo la

reforestación con plantas nativas puede ayudar a mejorar la retención de humedad y favorecer la recarga del acuífero.

Ant.4 (Quispe, Caprio, & Machaca, 2016) Congreso Peruano de Geología – Perú; Articulo científico “Caracterización hidrogeológica en la cabecera de la cuenca del río Azángaro – Puno” tuvo como finalidad identificar los tipos de acuíferos presentes en la cuenca y la composición Hidroquímica de los manantes mediante el diagrama de Piper. Para lo cual identificaron las características hidrogeológicas, hidráulicas e hidroquímica de la zona de estudio, donde realizaron el muestreo de 22 manantiales, evaluando sus características físico-química in situ. Como resultado se identificó 2 tipos de acuíferos: una en materiales no consolidados (acuífero poroso) y la última en rocas fisuradas de origen sedimentario, volcánico y kárstico.

En el presente artículo ayudó a conocer la importancia de la caracterización hidrogeológica e Hidroquímica, al momento de identificar y clasificar los tipos acuíferos en una cuenca. También, el uso de diagramas ayuda a interpretar la composición Hidroquímica de las muestras de agua y mejorar la caracterización del acuífero.

Ant.5 (Auge, 2008) Universidad de Buenos Aires – Argentina; El articulo científico “Métodos Geoeléctricos para la prospección de aguas subterráneas” tiene como objetico informar los métodos Geoeléctricos y sus aplicaciones para la exploración de aguas subterráneas y cuál es la manera correcta de hacer la interpretación con los resultados obtenidos. Donde indica que el método más usado para la interpretación del comportamiento de las aguas subterráneas son los sondeos eléctricos y en particular el sondeo eléctrico vertical (SEV) y las calicatas eléctricas (CE).

En el presente artículo ayudó a comprender de mejor manera los resultados obtenidos de los estudios geofísicos, para la comprensión del comportamiento geológico e hidrogeológico de la

cuenca de estudio relacionando las variaciones de resistividad eléctrica con las características litológicas, el grado de fracturamiento y las condiciones de saturación del subsuelo.

Ant.6 (Quezada & Alicia, 2023) Universidad De Chile – Chile; Tesis: "Estudio de factibilidad de obras de recarga de acuífero en el territorio de la comuna de Combarbalá, IV región de Coquimbo" tiene como objetivo caracterizar los acuíferos, evaluar la disponibilidad y calidad del agua, evaluar las fuentes de recarga disponibles en la zona de estudio y selección de la técnica de recarga. Por lo cual analizaron la disponibilidad, calidad del agua, evaluación de la infraestructura y los costos para la realización de estos métodos.

Esta tesis nos ayudó para la evaluación de la calidad de las aguas subterráneas y evaluar métodos de recarga que se puedan aplicar en nuestra zona de estudio.

B. ANTECEDENTES NACIONALES

Ant.1 (Bandera & Barrientos, 2019),UNSAAC – Perú; Tesis "Estudio hidrogeológico para el diseño de métodos de recarga acuíferos en la microcuenca de Unuhuaycco, distrito oropesa, provincia Quispicanchis - Cusco -2019; que tiene como objetivo realizar un estudio hidrogeológico para el diseño de métodos de recarga de acuíferos para incrementar la oferta hídrica en la microcuenca de Unuhuaycco, Distrito de Oropesa, Provincia Quispicanchi Cusco , metodología En conclusión, se plantea zanjas de infiltración y forestaciones entre zanja y zanja para una mejor retención hídrica y conservación del suelo, se plantea la elaboración de zanjas.

Esta tesis nos ayudó a plantear métodos de recarga como: zanjas de infiltración y reforestación que servirán de reguladores hídricos, que tienen la finalidad de captura y almacenar la escorrentía.

Esta tesis nos ayudó a plantear la propuesta de zanjas de infiltración y reforestación siendo esta una alternativa técnicamente viable para incrementar la recarga del acuífero, mejorar la retención hídrica, aumentando el caudal de los manantes y conservar el suelo en microcuencas altoandinas con características similares a la microcuenca de Joctopuquio.

Ant.2 (Peña & Santos, ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LA ZONA DE RECARGA DE LA GALERÍA FILTRANTE DE PILLAO MATAO, SAN JERÓNIMO – CUSCO, 2008) INGEMMET – Perú; “Estudio Hidrogeológico Para Determinar Perímetros De Protección De La Zona De Recarga De La Galería Filtrante De Pillao Matao, San Jerónimo – Cusco” tiene como Objetivo determinar los perímetros de protección de la captación de la zona de recarga hídrica de la galería filtrante Pillao Matao, en el distrito de San Jerónimo de la región Cusco. En conclusión, las aguas subterráneas son aptas para el consumo humano según análisis realizados de las rocas, Los suelos donde se ubican las zanjas de infiltración tienen permeabilidades bajas (por presencia de limos y arcillas), los cuales deben ser mejorados diseñando nuevas zanjas de infiltración en suelos más permeables y si es posible, zanjas en roca, los cuales optimizaría la infiltración de aguas de lluvia en la galería filtrante de Pillao Matao.

Este estudio ayudó a respalda la propuesta de zanjas de infiltración, evidencio que su eficiencia depende de la permeabilidad del terreno y que su ubicación debe definirse a partir de un estudio hidrogeológico. La Formación Kayra se consideró como acuífero de alta productividad en el distrito de San Jerónimo, información que fortalece la propuesta de recarga artificial en la microcuenca de Joctopuquio.

Ant. 3 (Peña, Charca, & Condori, 2015) INGEMMET - Perú; “Inspección hidrogeológica, para la recarga artificial de acuíferos, en la sub cuenca Santa Eulalia” tuvo como objetivo identificar unidades hidrogeológicas para la recarga artificial de acuíferos y proponer diseños técnicos de recarga artificial e indicar fuentes de agua superficial para la alimentación y recarga de acuíferos. Se tuvo como resultado realizar la recarga sobre el afloramiento rocoso intrusivo y material no consolidado, estas áreas fueron delimitadas con los valores de permeabilidad realizadas en 8 puntos de la zona de estudio. Los diseños de recarga artificial se realizaron mediante zanjas de infiltración y amunas. Donde, las fuentes de alimentación serán las lluvias y aguas superficiales provenientes de tributarios de la quebrada Chinácota.

Este antecedente ayudo a proporciona una referencia técnica para la identificación de zonas favorables para la recarga artificial, considerando principalmente la permeabilidad de los materiales y las características hidrogeológicas del terreno. También, permite tomar como referencia el uso de zanjas de infiltración y amunas como alternativas para favorecer la infiltración de las aguas de precipitación y aguas superficiales hacia el subsuelo.

Ant. 4 (Carlotto, Cardenas, & Carlier, 2011) INGEMMET – Perú; Boletín N° 138 Serie A “Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000 - [Boletín A 138]” tiene como objetivo la aplicación de la información que van desde los aspectos científicos hasta las exploraciones de los recursos geológicos como minerales, rocas, aguas subterráneas, son el resultado de trabajos de campo y gabinete a escala 1:25,000, se describe Geología del Cuadrángulo de Cusco que se acompaña de cuatro mapas geológicos a escala 1:50,000, este formato incluye anexos con diferentes mapas como: un mapa geológico integrado a escala 1:100,000, los mapas geomorfológicos, estructural y neotectónica, de dominios tectónicos, metalogénico, y de rocas.

El siguiente Boletín N° 138 Serie A, nos ayudó con la identificación de las unidades Geológica del valle del Huatanay, según el estudio se ha dividido en Cuatro dominios estructurales, donde nuestra zona de interés se abarca la zona altiplánica.

1.11 BASES TEÓRICAS

A. HIDROGEOLOGÍA

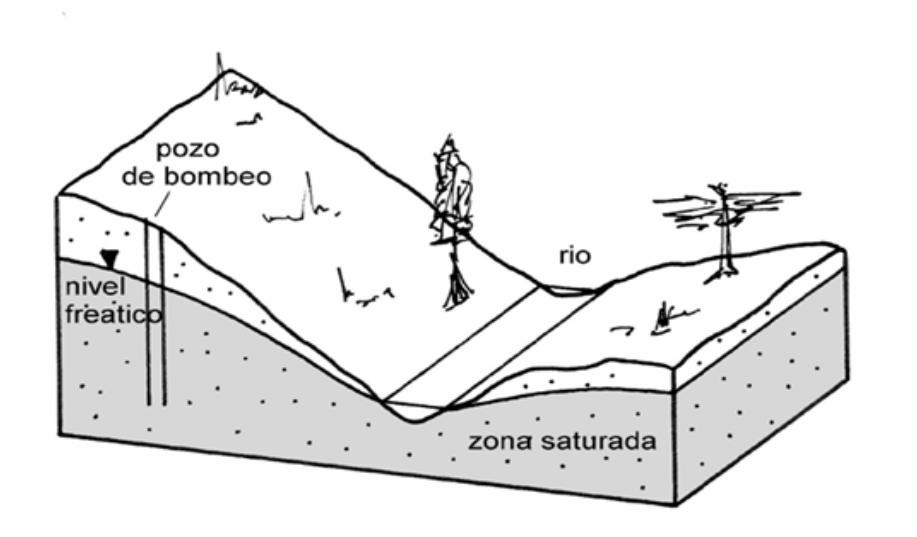
Según (Custodio & Llamas, 1983) la Hidrogeología se ocupa del estudio de las aguas subterráneas y no se dedica a la investigación del agua en general.

Estudia como las aguas terrestres interaccionan con la roca y el suelo, como se mueve a través de los acuíferos en la zona saturada y no saturada de las formaciones geológicas, considerando así propiedades físicas y químicas de agua, y la actividad antrópica que afecta a estos procesos (Ordoñes, 2011, p. 11)

Acuífero: Es definido como una unidad geológica que caracteriza su porosidad y permeabilidad, que puede almacenar y transmitir agua a través de sus poros, diaclasas o fracturas. Permite que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para satisfacer a sus necesidades. (Custodio & Llamas, 1983)

Figura 7

Bloque diagrama esquemático de un acuífero libre parcialmente drenado por un rio



Fuente: (García & Fernández, 2008)

TIPOS DE ACUÍFERO Y SU COMPORTAMIENTO

Desde el punto de vista de su textura, existen fundamentalmente tres tipos de materiales acuíferos, que se representan

Acuíferos porosos: se caracterizan por tener porosidad intergranular que les permite tener una permeabilidad, entre ellos se encuentran las gravas, arenas, arcosas y, en general, todos los materiales detríticos con tamaño de grano de arena como mínimo. La textura del medio está constituida por granos, permitiendo que el agua se almacene y circule por los huecos intergranulares; los espacios entre granos puedes estar llenos de material fino que reduce su capacidad de almacenamiento, como también los mismos granos porosos pueden aumentar la capacidad de almacenamiento. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

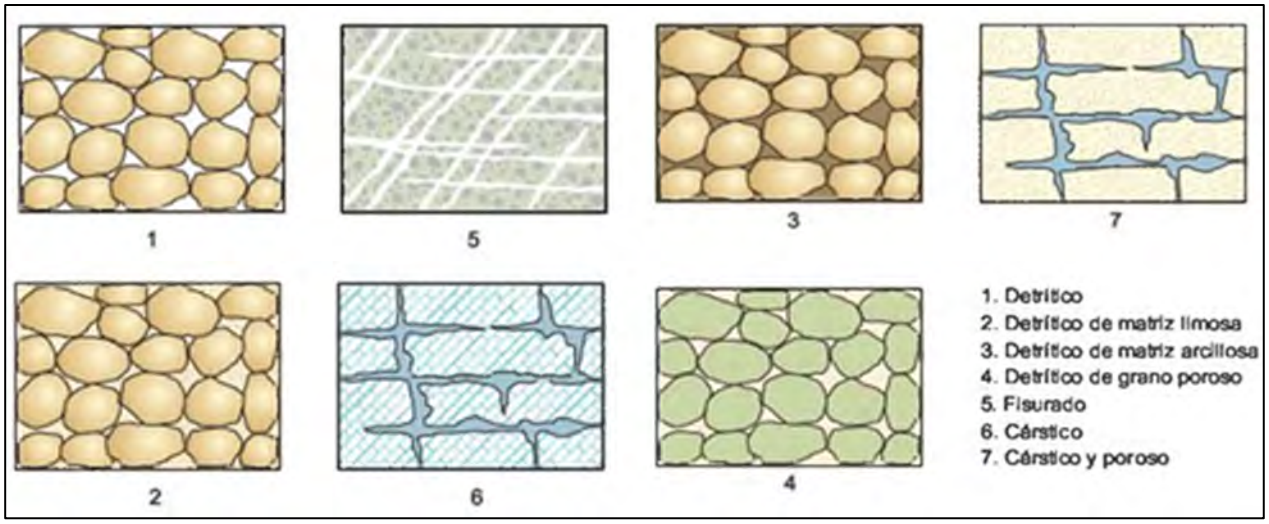
Acuíferos fisurados: Se caracterizan por la permeabilidad es debida a grietas y fisuras, tanto de origen mecánico como de disolución. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Acuíferos kársticos: Se encuentran entre ellos las calizas, dolomías, granitos, basaltos, etc., siendo los dos primeros los tipos más importantes. La karstificación es un proceso de disolución por acción del agua en formaciones carbonatadas previamente fisuradas; los acuíferos kársticos son poco homogéneos a pequeña escala, pero suelen presentarse más homogéneos si la escala de trabajo es suficientemente amplia. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Acuíferos kársticos y porosos: Los acuíferos cuya permeabilidad es debida a un conjunto de las dos anteriores causas, teniendo así los Son típicas las calcarenitas (Gonzalez de Vallejo, 2002).

Figura 8

Tipos de acuíferos según su textura.



Fuente: (González de Vallejo, Ortuño, & Oteo, 2002)

TIPO DE ACUÍFERO SEGÚN FORMACIONES GEOLÓGICAS Y SU COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA

Los acuíferos deben ser entendidos como formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de almacenar y transmitir el agua. Estas formaciones suelen dividirse en cuatro grupos principales (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Acuíferos: Son capaces de almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas, materiales calizos, etc.); son formaciones con capacidad de drenaje alta en las que se pueden perforar pozos con el fin de satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento, agricultura, industria, ganadería, etc. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Acuitardo: Son capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la trasmiten con dificultad; se suelen denominar con frecuencia formaciones semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas, etc.), y su capacidad de drenaje es media a baja; no son de interés para la obtención de caudales que puedan servir a alguna necesidad hídrica, pero en la naturaleza juegan un papel muy importante como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

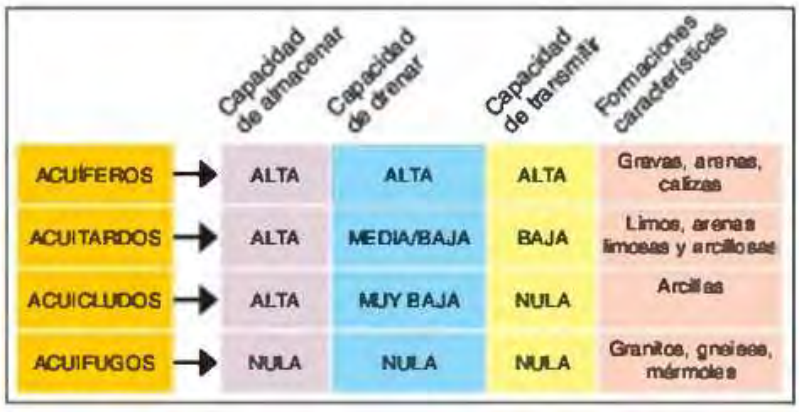
Acuicludo: Pueden almacenar el agua en gran des cantidades, pero no tienen la posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad; el agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos, etc.); en hidrogeología clásica, se asumen como impermeables, pero en ingeniería geológica este concepto se hace menos preciso, pues drenajes muy limitados pueden presentar problemas en determinadas obras. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Acuifugo: Formaciones incapaces de almacenar y de transmitir el agua; están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises, y a veces incluso calizas muy

compactas sin karstificar, se muestran como impermeables salvo que existan fracturas que pueden permitir flujos. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Figura 9

Formaciones geológicas frente al agua



Fuente: (González de Vallejo, Ortuño, & Oteo, 2002)

a. TIPOS DE ACUÍFEROS SEGÚN LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA

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

Acuíferos libres no confinados o freáticos:

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

Acuíferos Cautivos Confinados o a Presión:

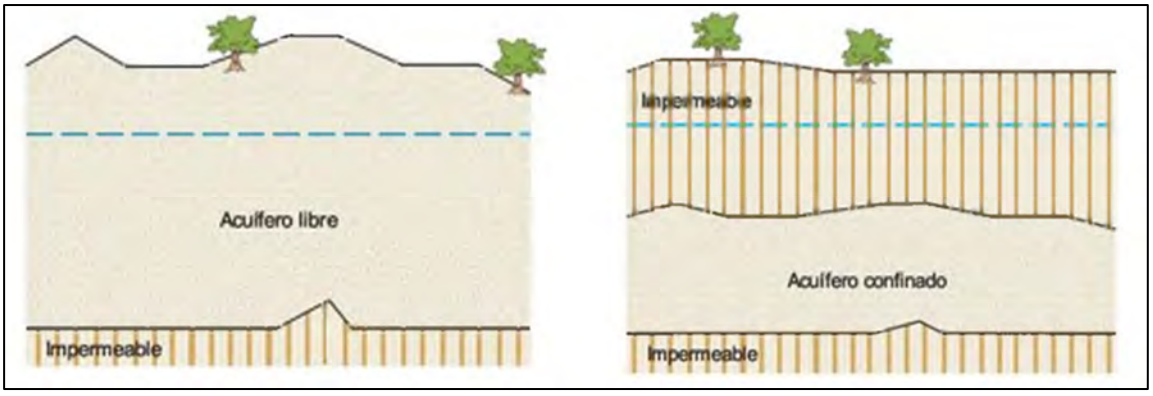
Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos. (Ordoñes, 2011)

Acuíferos semicautivos o semiconfinados:

Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua. (Custodio & Llamas, 1983).

Figura 10

Esquema de acuífero libre y confinado



Fuente: (González de Vallejo, Ortuño, & Oteo, 2002)

b. CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS

La propiedad de los acuíferos de contener agua, está gobernada por varios factores: Porosidad Permeabilidad, Transmisibilidad Especifica y Coeficiente de Almacenamiento. (Custodio & Llamas, 1983)

Porosidad (n)

La Porosidad de un material viene expresada por la relación entre volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total. (Custodio & Llamas, 1983)

Volumen de la parte solida (Vs)

Volumen de huecos (Vv)

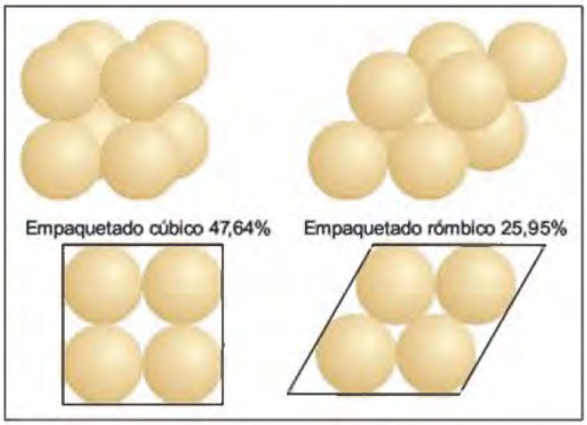
Volumen total (Vt = Vv+Vs)

Donde la porosidad seria

m=Vv/Vt

Figura 11

Empaquetado máximo y mínimo de un medio granular homogéneo



Fuente: (González de Vallejo, Ortuño, & Oteo, 2002)

Permeabilidad (K)

Es la propiedad de las rocas de permitir o no el flujo del agua; es decir, un estrato geológico siendo poroso puede contener agua, pero si los espacios vacíos no se interconectan, el agua no circula. (Custodio & Llamas, 1983)

El parámetro K o coeficiente de permeabilidad tiene las dimensiones de una velocidad, ya que la ecuación dimensional es: (Gonzalez de Vallejo, 2002)

$k = K \cdot \gamma w / u$

Donde: k = Permeabilidad efectiva

K = Permeabilidad intrínseca

γw = Peso específico del agua

u= Viscosidad dinámica

Figura 12

Cuadro de permeabilidad

Permeabilidad (m/día)	10^4	10^3	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena			Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas		
Calificación	Buenos acuíferos					Acuíferos pobres			Impermeables		
Capacidad de drenaje	Drenan bien						Drenan mal		No drenan		

Fuente: (Custodio & Llamas, 1983)

Transmisibilidad o Transmisividad (T)

La transmisividad es el producto de la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero (Duque, 2020):

$T = b * K$

Donde:

T —> Transmisividad (L2/T),

b —> Espesor saturado del acuífero (L)

K —> Conductividad hidráulica (L/T).

Para un acuífero compuesto de muchos estratos la transmisividad total es la suma de las transmisividades de cada estrato: (Duque, 2020)

$T = \Sigma TI$

Donde:

n —> Número total de estratos

Ti —> Transmisividad del estrato i.

Coeficiente de Almacenamiento (S)

Se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico (o la presión) (Duque, 2020).

En acuíferos confinados los valores típicos se encuentran entre 0.00005 y 0.005, mucho menores que la porosidad eficaz de un acuífero libre.

c. DEFINICIÓN DE RECARGA

Según (Balek, 1988) la recarga se puede definir como la entrada de agua dentro de la zona saturada donde comienza a hacer parte de las reservas subterráneas, esta entrada puede darse de dos maneras, por un movimiento descendente del agua debido a las fuerzas de gravedad y luego de presentarse un movimiento horizontal del flujo debido a las diferentes condiciones hidráulicas de las capas que constituyen el perfil del suelo.

d. GEOFÍSICA

Prospección geofísica

La prospección geofísica es de los métodos más utilizados por la geofísica aplicada, los estudios se realizan en áreas relativamente pequeñas, profundidades de unos pocos kilómetros, con la finalidad de obtener un fin económica inmediato. (Scivetti, Bahía, & Spagnuolo, 2021)

Tabla 5

Métodos geofísicos aplicados a la ingeniería geológica

Método	Técnicas		Aplicaciones
Eléctrico	S.E.V.		Interpretación geológica, grado de alteración, cubicación de materiales, contenido en agua y salinidad.
	Calicatas eléctricas		ídem al anterior, pero para el estudio de su variación lateral.
	Dipolo-dipolo		ídem al anterior, pero para el estudio de su variación a lo largo de una sección.
Sísmico	Sísmica de refracción		Espesor de recubrimientos, excavabilidad, cubicación de áreas de préstamo, calidad de la roca, condiciones de cimentación.
	Sísmica de reflexión		Investigación geológica profunda en obras subterráneas y laderas.
Electromagnético	EM en dominio de frecuencias		Interpretación geológica, grado de alteración, contenido en agua y salinidad.
	EM en dominio de tiempos		ídem al anterior, pero a grandes profundidades.
	V.L.P.		Resistividad del terreno en superficie, interpretación geológica y variaciones laterales.
	Geo-radar		Huecos y elementos enterrados, contactos litológicos, investigación del trasdós de estructuras, etc.
Gravimétrico	Gravimetría		Contactos litológicos con contraste de densidad, terrenos blandos, cavidades, zonas de disolución, zonas de falla.
	Micro gravimetría		ídem al anterior, pero de mayor detalle.
Magnético	Magnetometría		Galerías mineras abandonadas, huecos rellenos de arcilla, conducciones enterradas, fallas, diques, masas mineralizadas.
Sísmica en sondeos	Cross-hole Down-hole Up-hole		Litología del sondeo, velocidad de ondas P y S, módulos dinámicos, propiedades resistentes, excavabilidad, espesor de recubrimientos.
	Tomografía sísmica		Interpretación geológica, cavidades, velocidad de ondas P y 5, propiedades resistentes, zonas de fractura, zonas de alteración, excavabilidad, espesor de recubrimientos.
Testificación geofísica (en el interior de sondeos)	Eléctrica	Resistividad eléctrica Potencial espontáneo Conductividad eléctrica Tomografía eléctrica	Salinidad del agua, existencia del material, secuencia Litológica, Fracturas.
	Nuclear o radiactiva	Gamma natural, Gamma espectral, Neutrón, Gamma-Gamma	Investigación de arcillas, contenido en agua, densidad del terreno.
	Sónica o acústica		Propiedades mecánicas, grado de fracturación, secuencia Litológica.
	Ruidos	Temperatura Conductividad Velocidad de flujo	afluencia de agua al sondeo, niveles freáticos.
	Geométricos	Calibre Diámetro Registro de TV	Acotación del sondeo, huecos y fracturas, orientación de discontinuidades.

Fuente: (González de Vallejo, Ortuño, & Oteo, 2002)

La resistividad aparente

La resistividad aparente es medida mediante un perfil geoeléctrico mediante en SEV que se emplea generalmente Schlumbeiger que revela la resistividad a diferentes profundidades. Al aumentar la separación de electrodos la medición de resistividad se vuelve más sensible a la resistividad en mayores profundidades.

Tabla 6

Valores de resistividad de las formaciones geológicas más comunes

Valores de resistividad de las formaciones geológicas más comunes	
Materiales	**Resistividad p (Ci m)**
Margas	50-5.000
Calizas	300-10.000
Pizarras	100-1.000
Granito	300-10.000
Arcillas	1-20
Arenas	50-500
Conglomerados	1.000-10.000
Areniscas	50-5.000
Aluviones	50-800

Fuente: (González de Vallejo, Ortuño, & Oteo, 2002)

e. MÉTODOS DE RECARGA

El método elegido para la recarga depende de las condiciones específicas del sitio y no hay reglas definidas o soluciones únicas para cualquier escenario dado. En definitiva, la decisión sobre qué método aplicar dependerá de una serie de factores que incluyen el costo, el suelo y las condiciones hidrogeológicas locales, la calidad de la fuente de agua y el área de terreno disponible, entre otros factores potenciales. El tipo de acuífero es normalmente la primera consideración en la selección del método de recarga. Esta guía se centra en técnicas basadas en infiltración para recargar acuíferos no confinados con agua superficial. (CRN, 2020)

Hay tres grupos de métodos basados en infiltración para recargar acuíferos no confinados:

1) FUERA DEL CAUCE

GALERÍAS DE INFILTRACIÓN

Según (CRN, 2020 cómo se citó en Bekele et al., 2013). Las galerías de infiltración son, esencialmente, zanjas de percolación cubiertas que contienen un medio (material de suelo) o una estructura de soporte con espacios vacíos internos para facilitar la infiltración Este método ocupa menos espacio que las piscinas de infiltración y utiliza el espacio subterráneo.

ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Las zanjas de infiltración son canales construidos en laderas que tienen el objetivo de captar el escurrimiento de agua, evitar procesos erosivos y conservar el suelo y el agua. Las zanjas son relativamente poco profundas y permiten la infiltración de agua principalmente en el suelo, pero también pueden recargar los acuíferos poco profundos y no confinados (CRN, 2020)

CANALES DE INFILTRACIÓN

Este método utiliza canales existentes no revestidos fuera de la temporada de riego, manteniendo las bocatomas abiertas para permitir la entrada de excedentes de caudales y así aumentar la infiltración de agua a las napas subterráneas. (CRN, 2020)

2) DENTRO DEL CAUCE

AMUNAS

Este sistema consiste en la captación y conducción de parte del caudal superficial hacia zonas de alta permeabilidad, donde el agua se infiltra en el subsuelo y es almacenada temporalmente en los acuíferos, permitiendo su posterior descarga a través de manantiales y quebradas durante la estación seca. Las amunas representan una estrategia de siembra y cosecha de agua que contribuye a la regulación hídrica de las cuencas, al abastecimiento de agua para

actividades agrícolas y al fortalecimiento de la resiliencia frente al cambio climático en los ecosistemas andinos. (UNESCO, 2018)

ESTANQUES DE PERCOLACIÓN

Los estanques de percolación son construidos en ríos intermitentes donde el agua se detiene y se infiltra en el lecho para aumentar el almacenamiento en acuíferos no confinados, que luego puede ser extraída aguas abajo. Esta técnica es más efectiva cuando el curso del agua es relativamente estrecho y la topografía adyacente permite construir muros de represas. (CRN, 2020)

REPRESAS SUBTERRÁNEAS

Las represas subterráneas se aplican en ríos intermitentes donde la roca madre crea restricciones de flujo de agua subterránea. Se construye una zanja a través del lecho del río y se excava en la roca madre que luego se rellena con material de baja permeabilidad para ayudar a retener los flujos en el material aluvial saturado. (CRN, 2020)

3) POZOS SECOS

POZOS SECOS

Los pozos secos son una técnica de infiltración que usa pozos de gran diámetro para recargar un acuífero no confinado por gravedad. Este es un método útil para emplear cuando hay capas de suelos de baja permeabilidad (por ejemplo, ricos en arcilla) en los primeros metros de superficie. (CSIRO, CRN, 2020)

B. GEOLOGIA

"La geología, viene del griego geo, «Tierra», logos, «estudio». Es la ciencia que estudia la tierra, su composición, su mecanismo de formación, su evolución o alteraciones que esta ha experimentado desde su origen hasta el actual estado". (Fuentes P. , 2007, pág. 3)

Según (Tarbuck , Lutgens, & Tasa, 2005) Estudia los componentes de la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre.

a. Litología

La litología nos ayuda entender cómo es el relieve, ya que dependiendo de la naturaleza de las rocas y como estas se comportan ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y transporte, y los diferentes climas de la Tierra (Santiago, 2007)

Según (Abramson, 1996) se clasifican de acuerdo a su génesis o formación diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son: la roca y el suelo.

b. Estratigrafía.

Según (Duque, 2020) La estratigrafía es la capa que marca la terminación de un cambio geológico, la geometría de una capa interna con la geometría de un conjunto de capas, es crucial para comprender la formación de las rocas.

PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA

Área de la microcuenca (Ac)

Es la línea imaginaria superficie total que encerrada por la divisoria de aguas. la unidad de medida es Km2. (Gaspari F. , Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

Perímetro (Pc) (km)

Es la longitud de la divisoria topográfica. Se mide desde el punto de salida de la cresta hasta el punto de inflexión en el cauce (Robles Coronel & Ricce Torres, 2014)

Longitud del curso principal (L) (m)

Es la longitud del río que va desde el punto más distante de la cuenca hasta la desembocadura (Gaspari F. , Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013, pp. 41-69)

Longitud axial (La) (km)

Es la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca. Es el mismo eje de la cuenca. (Gaspari F. , Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

Ancho de la cuenca (Ap)

El ancho de la cuenca es la relación entre el área (Ac) y la longitud axial de la cuenca (Lax) (Hacha & Tacusi, 2015), se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ap = Ac/Lax$$

Ac: Área de la cuenca

Lax: Largo Axial

HIDROLOGIA

PARÁMETROS DE FORMA DE LA MICROCUENCA

Índice de compacidad o índice de Gravelius

Las cuencas con morfología compacta presentan valores cercanos a la unidad, lo que

favorece tiempos de concentración reducidos, generación de caudales pico elevados y procesos de recesión de corta duración. En contraste, las cuencas con morfología alargada registran valores superiores, asociados a una respuesta hidrológica más atenuada, con caudales pico menores y periodos de recesión más prolongados. (Senamhi, 2016)

$$Kc = 0.28 * \frac{Pc}{\sqrt{Ac}}$$

Donde

Kc: Índice de Gravelius

Pc: Perímetro de la cuenca

Ac: Área de la cuenca

Tabla 7

Clasificación índice de compacidad o índice de Gravelius

N°	Clase	Rango	Descripción
1	Kc1	1 a 1.25	Forma casi redondeada a oval-redondeada
2	Kc2	1.25 a 1.5	Forma oval-alargada
3	Kc3	1.5 a 1.75	Forma oval-alargada a alargada
4	Kc4	>1.75	Alargada

Fuente: (Seller, Bujan, Corbelle , & Miranda , 2017).

Factor forma de Horton

Representa la relación entre la anchura media y la longitud total de la cuenca. La longitud de la cuenca (Lc) es obtenida siguiendo el curso del río principal o más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante de la cuenca hidrográfica (Gaspari F. , Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013).

$$Ff = \frac{Ac}{Lc^2}$$

Donde:

Ff: Factor forma de Horton (adimensional)

Lc: Longitud del cauce principal (Km2)

Ac: Área de la cuenca (Km)

Tabla 8

Clasificación Forma de la cuenca según Horton.

N°	Rango	Forma de la cuenca
1	<0.22	Muy alargada
2	0.22-0.30	Alargada
3	0.30-0.37	Ligeramente alargada
4	0.37-0.45	Ni alargada ni ensanchada
5	0.45-0.60	Ligeramente ensanchada
6	0.60-0.80	Ensanchada
7	0.80-1.12	Muy ensanchada
8	>1.20	Rodeando al desagüe

Fuente: (Seller, Bujan, Corbelle , & Miranda , 2017)

Índice de Alargamiento

El índice de alargamiento fue propuesto por Horton que relaciona la longitud del cauce máxima de la cuenca con su ancho máximo que es perpendicular a la dimensión anterior. (Baldeom, 2016) .Éste define si la cuenca es alargada, cuando su valor es mucho mayor a la unidad, o si es muy alargada, cuando son valores menores a la unidad L.

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

Donde

Lax: largo axial

Ap: Ancho promedio

Tabla 9

Clasificación de Índice de Alargamiento

N°	Rango	Forma de la cuenca
1	0,0-1,4	Poco alargada
2	1.5-2.8	Moderadamente Alargada
3	2.9 -4.2	Muy alargada

Fuente: (Fuentes J. d., 2004).

Índice asimétrico

Este índice corresponde a la razón entre el área de la vertiente de mayor extensión ($A_{ma}y_{or}$) y el área de la vertiente de menor extensión (A_{menor}), las cuales se encuentran separadas por el cauce principal de la cuenca. Dicho índice permite evaluar el grado de simetría o asimetría en la distribución espacial de la red de drenaje y constituye un indicador del comportamiento geomorfológico de la cuenca (Horton, 1945).

Valores del índice significativamente mayores que la unidad evidencian una asimetría marcada, indicando que el cauce principal se encuentra desplazado hacia una de las vertientes. Esta condición refleja una distribución heterogénea de la red de drenaje, lo que favorece una mayor concentración de aportes hídricos en la vertiente predominante y, en consecuencia, un incremento de la descarga hídrica y de la susceptibilidad a procesos asociados a elevados eventos de escorrentía superficial (Horton, 1945).

$$Ias = \frac{Amayor}{Amenor}$$

Donde

Ias: Índice asimétrico (adimensional)

A mayor: Vertiente mayor (km²)

A menor: Vertiente menor (km²)

Tabla 10

Clasificación de Índice de Asimétrico

N°	Rango	Forma de la cuenca
1	Ias > 1	Cuenca alargada
2	Ias < 1	Cuenca achatada

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2017).

1.12 VARIABLES

1.12.1 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

- Hidrogeología
- Métodos de recarga artificial

1.12.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 11

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicador	Instrumentos de medición	Escala de medición
Hidrogeología	Geología	• Unidades litológicas	• Mapa litológico	• Tipo de roca
		• Estratigrafía	• Columna estratigráfica	• Tipo de suelo y roca
		• Grado de inclinación	• Mapa de pendiente	• Porcentaje (%)
		• Sistema de fallas • Pliegues • Sistema de fracturas	• Mapa geológico • Diagramas	• Azimut • Rumbo • Buzamiento
		• Geoformas	• Mapa geomorfológico	• Altitud • Relieve
	Hidrología	• Delimitación de cuenca	• Mapa base de la cuenca	• Área (Km^2, ha)
		• Precipitación	• Mapa de precipitación	• mm/año
		• Evapotranspiración	• Análisis de datos	• mm
		• Escorrentía	• Análisis de datos	• mm
		• Balance hídrico	• Análisis de datos	• mm
		• Inventario de manantes	• Mapa de inventario de manantes	• Cantidad
	Parámetros hidrogeológicos	• Permeabilidad	• Toma de datos	• m/día
		• Porosidad	• Análisis de datos	• %
		• Capacidad de almacenamiento	• Análisis de datos	• Adimensional
		• Transmisibilidad	• Análisis de datos	• m^2/día
		• Coeficiente de almacenamiento	• Análisis de datos	• Adimensional
		• Conductividad hidráulica	• Análisis de datos	• m/s
		• Tipo de acuíferos	• Mapa hidrogeológico	• Área
	Geofísica	• Resistividad	• Secciones geofísicas	• Ω·m
	Hidroquímica	• Temperatura, • PH, • Conductividad • % sales	• Mapa de puntos de muestreo • Toma de datos	• °C • PH • uS/cm • %
Métodos de Recarga Artificial	Obras de infiltración	• Zanjas de infiltración • Reforestación	• Mapa de ubicación de zanjas • Cuadros • Gráficos	• M

1.13 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio corresponde investigación **aplicada**, según (Arias, 2021) La investigación aplicada: tiene como finalidad resolver problemas prácticos mediante la utilización de conocimientos teóricos. Se orienta a la obtención de hallazgos, descubrimientos y soluciones que permitan responder a la problemática planteada en los objetivos del estudio. Este tipo de investigación es frecuente en áreas como la medicina y la ingeniería, y puede presentar alcances explicativos o predictivos, de acuerdo con los objetivos de la investigación.

1.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación **mixto**, según (Hernández & Mendoza, 2018) los métodos mixtos comprenden la integración de los enfoques cuantitativo y cualitativo en un mismo proceso de investigación, permitiendo obtener una visión más amplia del fenómeno estudiado.

1.2 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio corresponde a una investigación **descriptiva,** según (Sousa, Cardenas, & Costa, 2007) "En este tipo de estudio se observa, describe y fundamentan varios aspectos del fenómeno, no existe la manipulación de las variables y según (Hernández & Mendoza, 2018) tiene como principal función especificar las propiedades, características, objeto o cualquier fenómeno.

1.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El estudio corresponde a una investigación por su diseño metodológico es **no experimental** por su diseño temporal **transversal** según (Hernández & Mendoza, 2018) "En este tipo de estudios las variables son estudiados sin alterar ninguna situación y tampoco la manipulan las variables de estudio, es transversal ya que solo se tomará datos en una sola instancia de tiempo y se realiza una única vez"

1.4 ETAPAS DE TRABAJO

Las etapas de la investigación se dividen en tres etapas: Etapa de pre -campo, etapa de campo, etapa de gabinete.

A. ETAPA DE PRE - CAMPO

En esta etapa se realizó la recopilación y revisión de toda la información que ayude al desarrollo satisfactorio de nuestra zona.

- Recopilación y revisión bibliográfica de los antecedentes de la zona (geología, geomorfología, hidrología, clima, etc.)
- Recopilación de los fundamentos teóricos de exploración geológica (INGEMMET cuadrángulo de la zona de estudio, en base a los cuadrángulos de Cusco 28s), hidrológica e hidrogeológica y modelamiento de sistemas de agua subterránea.
- Descarga de datos SIG vectoriales y ráster de plataformas GEOCATMIN, ALOS PALSAR-ASF, GLOBAL MAPER, SAS PLANET entre otros.
- Elaboración de mapas base como ubicación, accesibilidad, hidrográfico, geología, geomorfología pendiente, hidrológico, hidrogeológico
- Elaboración de un cronograma de actividades, una estructura de costos y presupuestos, para la planificación inherente a la tesis considerando los tiempos de trabajo, costos de materiales, servicios tomados y los gastos, entre otros aspectos.

B. ETAPA DE CAMPO

En esta etapa se realizó recolección de datos en el terreno de nuestra zona de estudio que serán útiles para el estudio hidrogeológico.

- Mapeo geológico e identificación de la litología para el levantamiento de columnas estratigráficas.
- Reconocimiento de unidades geomorfológicas en la zona de interés para la elaboración de los planos correspondientes a nivel local de la zona de estudio.
- Mapeo de la geología estructural, reconocimiento de fallas y diaclasas pliegues en nuestra zona de estudio.
- Inventario de fuentes hídricas (Ojos de agua, manantes, riachuelos)
- Se ejecuto los ensayos infiltración en las formaciones geológicas a partir del cartografiado geológico
- Muestreo de agua de los manantes para su posterior análisis hidroquímico en laboratorio.
- Ensayos geofísicos

C. ETAPA DE GABINETE O POST - CAMPO

Seguidamente realizo la etapa de campo, debemos evaluar, analizar y procesar la información recolectada en campo para lo cual:

- Procesamiento, interpretación y análisis de datos obtenidos en campo.

- Envió de muestra a laboratorios especializados para su análisis químico correspondiente
- Digitalización de mapas
- Elaboración y procesamiento de los datos obtenidos como la permeabilidad, caudales
- Elaboración y redacción final del informe.

1.5 EQUIPOS Y MATERIALES

A. EQUIPOS

- Brújula. Se utilizó para la orientación, medir en rumbo y buzamientos de las estructuras.
- Lupa. Se utilizó para la observación detalla de minerales y rocas.
- GPS. Se utilizó para la ubicación de puntos en la toma de coordenadas.
- Cinta métrica. Se utilizo para medir estratos y estructuras para un correcto cartografiado.
- Picota. Se utilizó para la extracción de muestras insitu.
- Cámara fotográfica. Se usará para la toma de fotos de los afloramientos, estructuras, etc.
- Cronómetro. Se utilizó para medir el tiempo.
- Tubos PVC, etc. Se usará para medir los parámetros hidrológicos.

- Equipos geofísicos SEV.

B. MATERIALES

- Imagen satelital
- Mapas base: Topográfico, Geológico, Satelital. Para delimitar
- Tableros
- Colores
- Regla
- Papel milimétrico
- Bolsas para recolección de muestras
- Ácido clorhídrico.
- Rayador.
- Protactor
- Escalímetro
- Chaleco.
- Ponchos de agua.

Figura 13

Materiales utilizados en el trabajo de campo realizado en la zona de estudio



1.6 POBLACIÓN

El estudio beneficio a los habitantes de la comunidad de Ccollana, Kallampata y predios de Angostura que son abastecidos por la microcuenca de Joctopuquio en el distrito de San Jerónimo, Provincia de Cusco Departamento Cusco.

1.7 MUESTRA

- Puntos de muestreo hidrogeológico
- Manantes
- Litología
- Pendiente
- Áreas potenciales de recarga

CAPITULO II: GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA

2.1 GEOMORFOLOGIA

2.1.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Regionalmente la zona de estudio se encuentra al extremo del altiplano ubicadas dentro de las montañas de Cusco, esta caracterizado por presentar altitudes que varían entre 3200-4200 m.s.n.m. Asimismo, en nuestra zona de estudio presenta algunas geoformas como son las morrenas, vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y montañas sedimentarias que pueden llegar a altitudes de 4500 msnm.

Morrenas (Mo)

Los depósitos morrenicos son materiales de origen glaciar, que se caracterizan por ser la acumulación de bloques, gravas y arena arrastrado por el hielo glaciar, que se encuentra sobre las formaciones Kayra, Puquin y Chilque. Esta composición ayuda en la infiltración de las aguas de precipitación.

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Se encuentra sobre la quebrada del Huatanay que está ubicada en la margen derecha del río Huatanay, se origina a la altitud de 3200 msnm y se caracteriza por presentar gran cantidad de material suelto, producto de la actividad erosiva de las aguas de precipitación y escorrentías pluvial sobre rocas sedimentarias, produciendo posteriores derrumbes y caídas de roca que generan acumulación de sedimentos en los cauces.

Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)

Corresponde a afloramientos de roca sedimentaria que son afectados por procesos tectónicos y erosivos por lo que se encuentran fracturados y estas ayudan en la infiltración de las aguas meteóricas, estas son rocas de tipo conglomerados, areniscas, lutitas. Presentan laderas con pendientes medias a fuertes lo que puede llegar a limitar la infiltración.

Figura 14

Vista panorámica de la cuenca de Huatanay tomada con vista hacia el SW

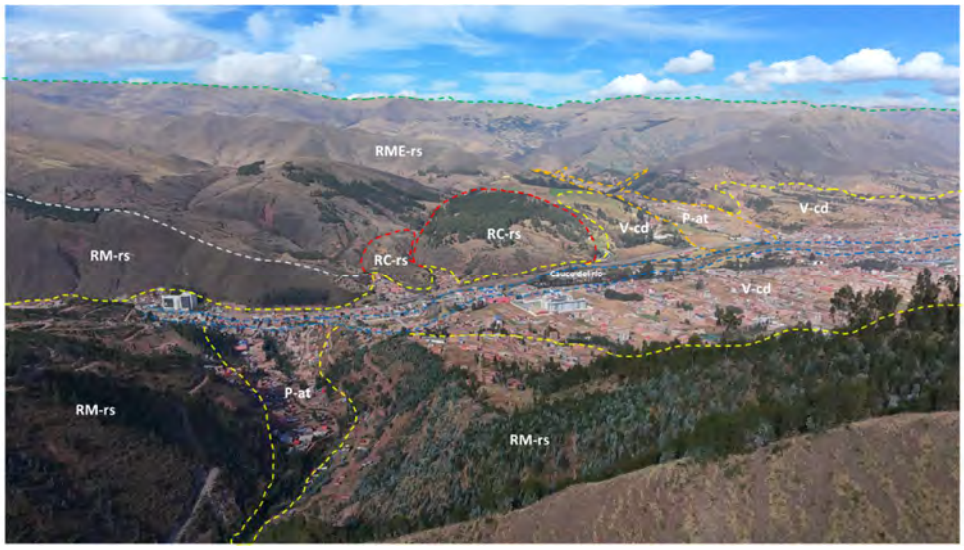
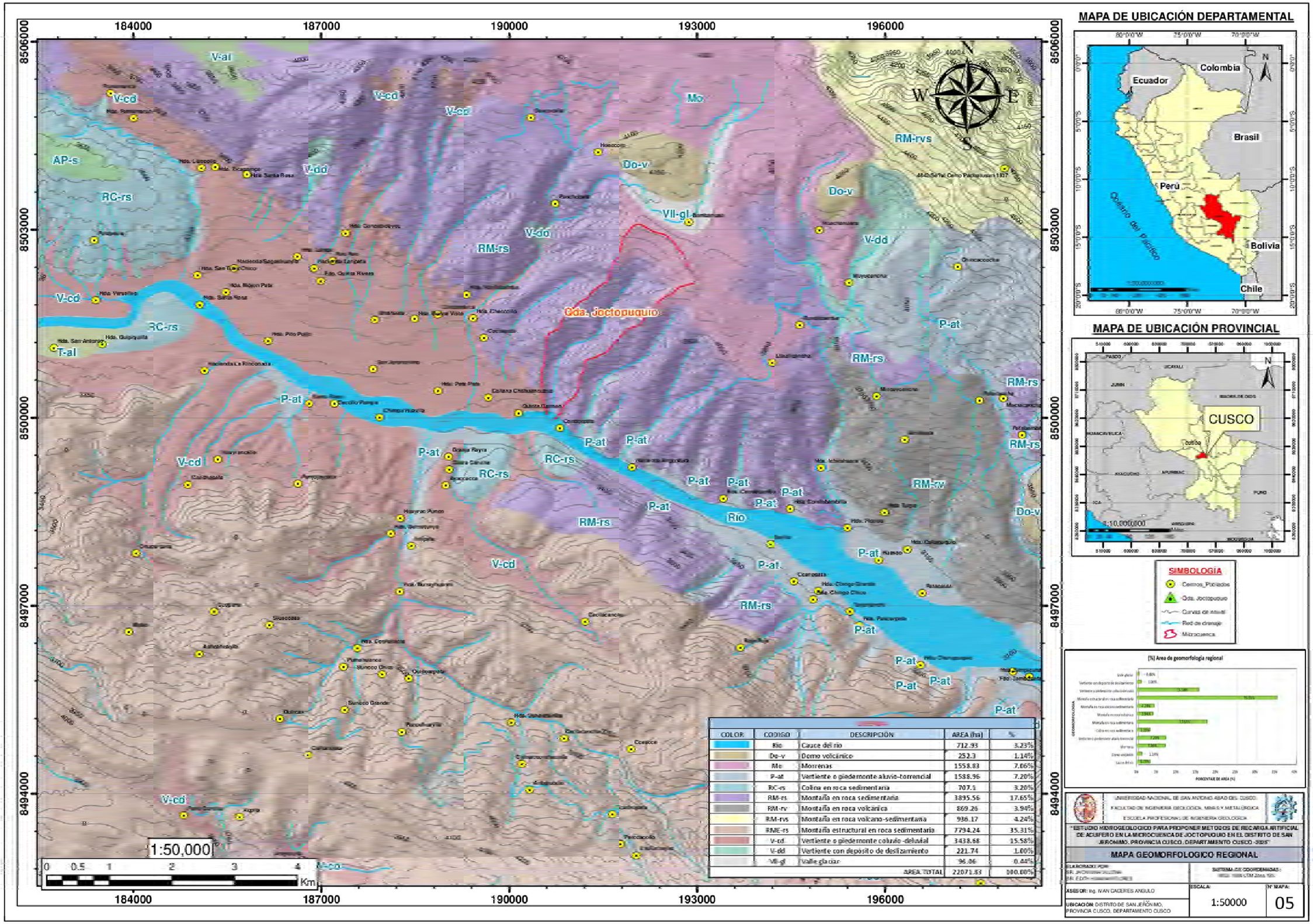


Tabla 12

Clasificación climática de la microcuenca de Joctopuquio

LEYENDA			
CODIGO	**DESCRIPCIÓN**	**AREA (ha)**	**%**
Río	Cauce del río	712.93	3.23%
Do-v	Domo volcánico	252.3	1.14%
Mo	Morrenas	1558.83	7.06%
P-at	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	1588.96	7.20%
RC-rs	Colina en roca sedimentaria	707.1	3.20%
RM-rs	Montaña en roca sedimentaria	3895.56	17.65%
RM-rv	Montaña en roca volcánica	869.26	3.94%
RM-rvs	Montaña en roca volcano-sedimentaria	936.17	4.24%
RME-rs	Montaña estructural en roca sedimentaria	7794.24	35.31%
V-cd	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	3438.68	15.58%
V-dd	Vertiente con depósito de deslizamiento	221.74	1.00%
Vll-gl	Valle glaciar	96.06	0.44%
AREA TOTAL		22071.83	100.00%

Figura 15 *Mapa de Geomorfológico Regional de la microcuenca de Joctopuquio*



Nota: Adaptado del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2025)

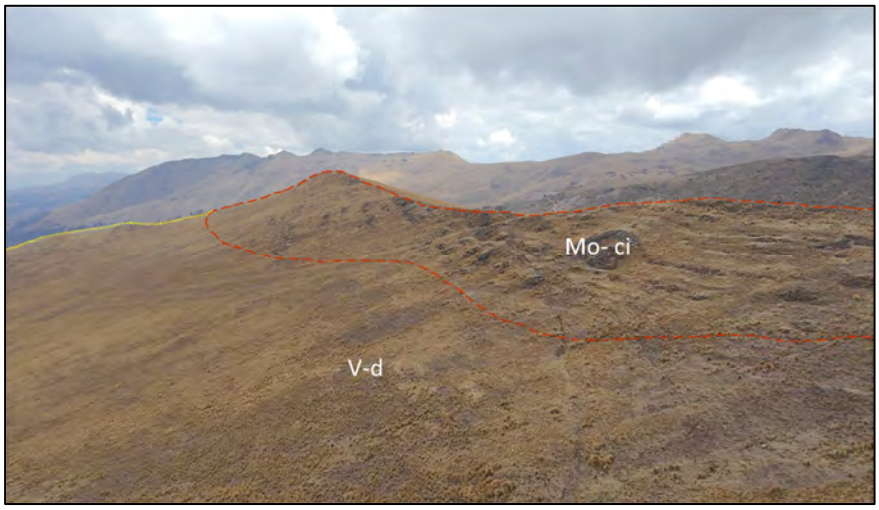
2.1.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

CIMA DE MONTAÑA (Mo-ci)

Esta unidad se localiza en la parte alta de la microcuenca de estudio entre los 4100 a 4200 m.s.n.m, está constituido por afloramiento de la Formación Kayra. Presenta terrenos ligeramente inclinados, ocupando un área de 13.83 hectáreas. La presencia de afloraciones rocosas permite que las aguas de las precipitaciones infiltren y aporten al acuífero atreves de las fracturas.

Figura 16

Cima de montaña corresponde a la cabecera de la microcuenca de Joctopuquio.



VERTIENTE DE MONTAÑA (V-me)

Esta unidad se caracteriza por poseer una topografía accidentada con un área de 167.53 ha, comprende el 59.91% del área total, esta representa la mayor parte de área de la microcuenca, con terrenos de pendiente muy fuertemente accidentado a escarpado y condicionan la distribución y circulación del agua superficial hacia las partes bajas, esta geoforma se encuentra en los flancos laterales de la microcuenca.

Figura 17

Vertiente de montaña en la parte media de microcuenca de Joctopuquio.

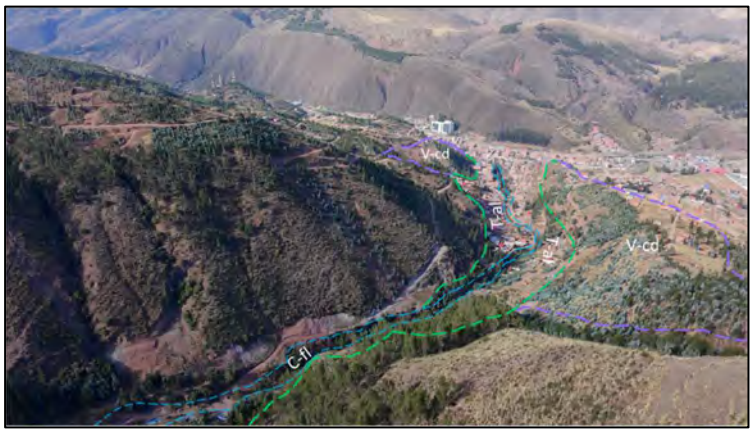


VERTIENTE O PIE DE MONTE COLUVIO- DELUVIAL (V-cd)

Esta unidad geomorfológica está formada por la acumulación de depósitos coluviales - deluviales, se encuentran depositadas sobre el pie de la montaña, estos fueron generados por movimiento de masa antiguo, se encuentran en terrenos de pendientes accidentados a muy fuertemente accidentados, con un área total de 17.75 hectáreas que es el 6.35% del área total de la microcuenca.

Figura 18

Vertiente o pie de monte en la parte media-baja de microcuenca de Joctopuquio.

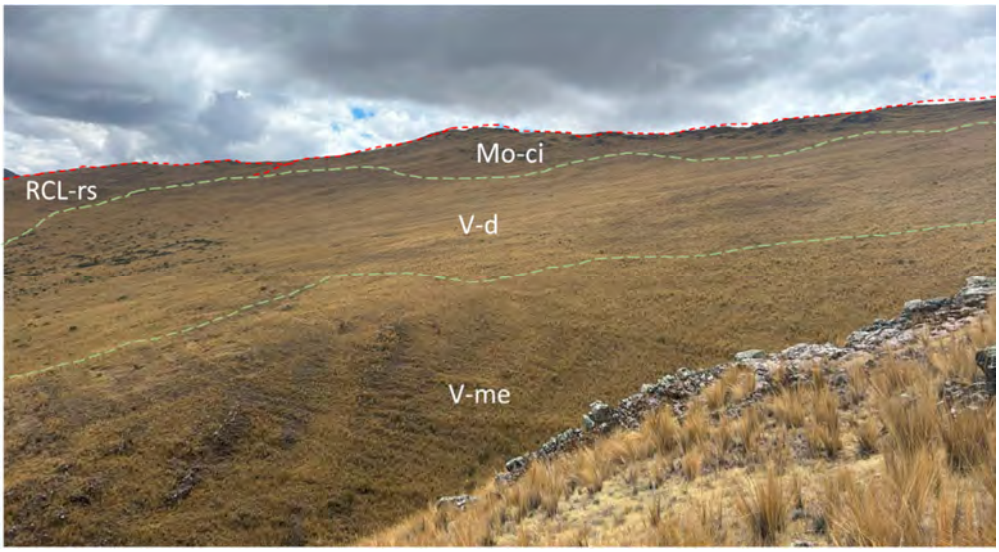


VERTIENTE DELUVIAL (V-d)

Esta unidad geomorfológica está ubicada en la cabecera de zona de estudio, formada por la acumulación variable de gravas, arenas, limos y arcillas, se encuentran en terrenos de pendiente moderada a medianamente accidentado, están sobre los 4100 msnm, estas áreas son de gran importancia para el estudio.

Figura 19

Vertiente o pie de monte en la parte media-baja de microcuenca de Joctopuquio

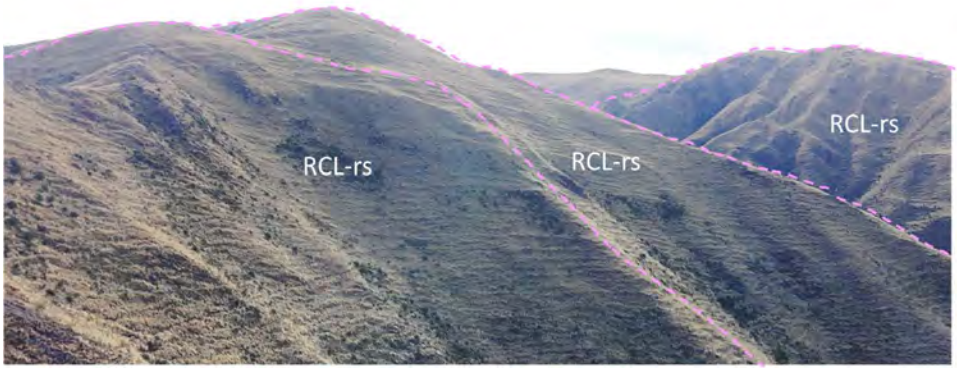


LOMADA EN ROCA SEDIMENTARIA (RCL-rs)

Las lomadas se caracterizan por tener una apariencia redondeada y alargada, que se encuentra originada por la erosión de estratos que tienen un buzando hacia el SW de nuestra cuenca de estudio, se tienen terrenos de pendiente suaves a muy fuertemente accidentado que están sobre los 3700 msnm.

Figura 20

Lomadas en la Roca Sedimentaria en la parte alta-media de microcuenca de Joctopuquio

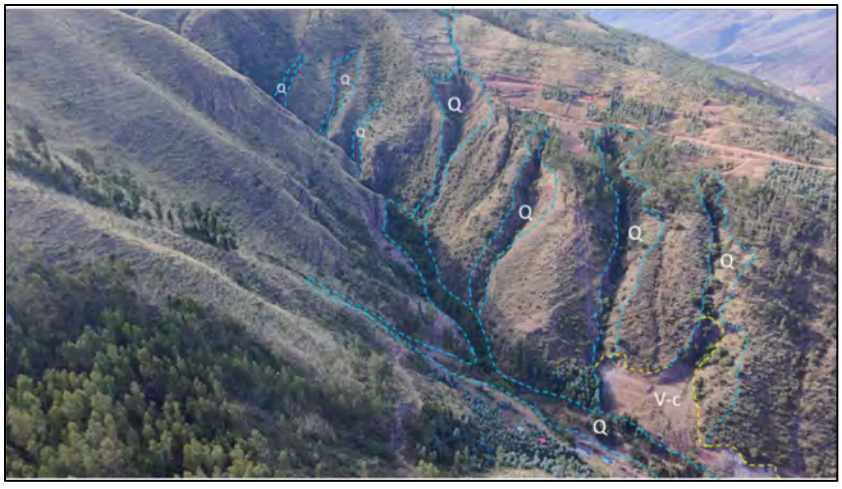


QUEBRADAS /CÁRCAVAS (Q)

Las quebradas están formadas por la acción de agua, que erosiona y arrastra sedimentos a lo largo de ella, generando surcos que se profundizan con el tiempo, las cárcavas atraviesan la cuenca en dirección SW, que coincide con la dirección de cauce principal, también las encontramos en los flancos laterales de menor longitud, pendientes planas a accidentado, tiene un área total de 14.42 hectáreas que es el 6.23% de área total de nuestra cuenca.

Figura 21

Quebradas/Cárcavas en la parte media de microcuenca de Joctopuquio



TERRAZA ALUVIAL (T-al)

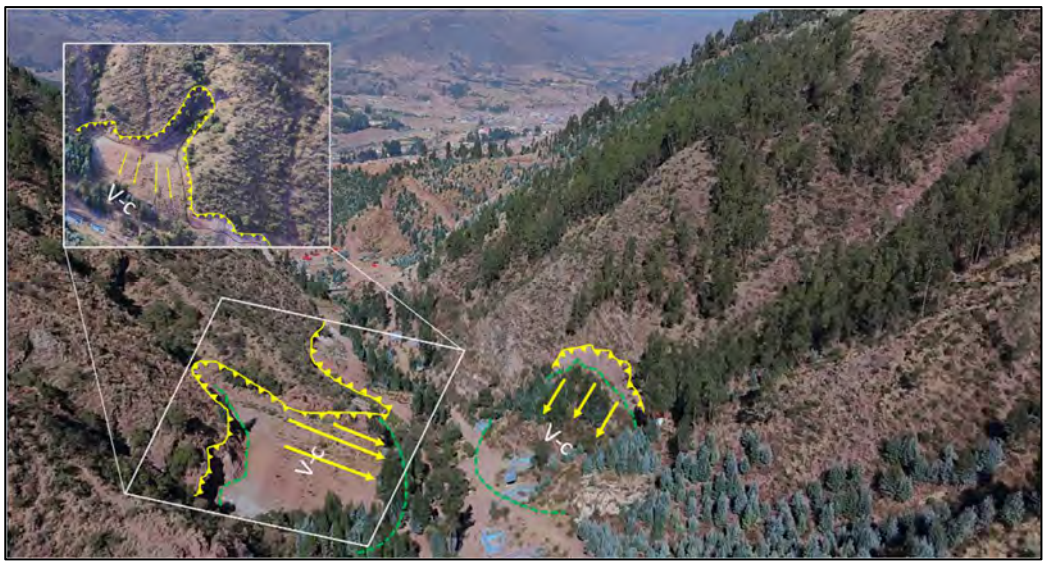
Estas geoformas se encuentran a lo largo del margen del cauce fluvial principal, y han sido originadas por procesos de erosión fluvial, estas presentan un relieve plano con material arrastrado por antiguos cauces fluviales. Estas presentan pendientes planas a medianamente accidentado.

VERTIENTE COLUVIALE (V-c)

Las vertientes coluviales se observan en la parte baja de las montañas con pendiente moderado a fuertemente accidentado, los cuales están formados por la acumulación de sedimentos y material suelto generados los la erosión y deslizamientos antiguos de las laderas, se encuentra en la parte central de nuestra cuenca con un área de 2.05 hectáreas que comprende el 0.73% del área total de la microcuenca de estudio.

Figura 22

Vertientes Coluviales en la parte media de microcuenca de Joctopuquio



CAUCE FLUVIAL (C-fl)

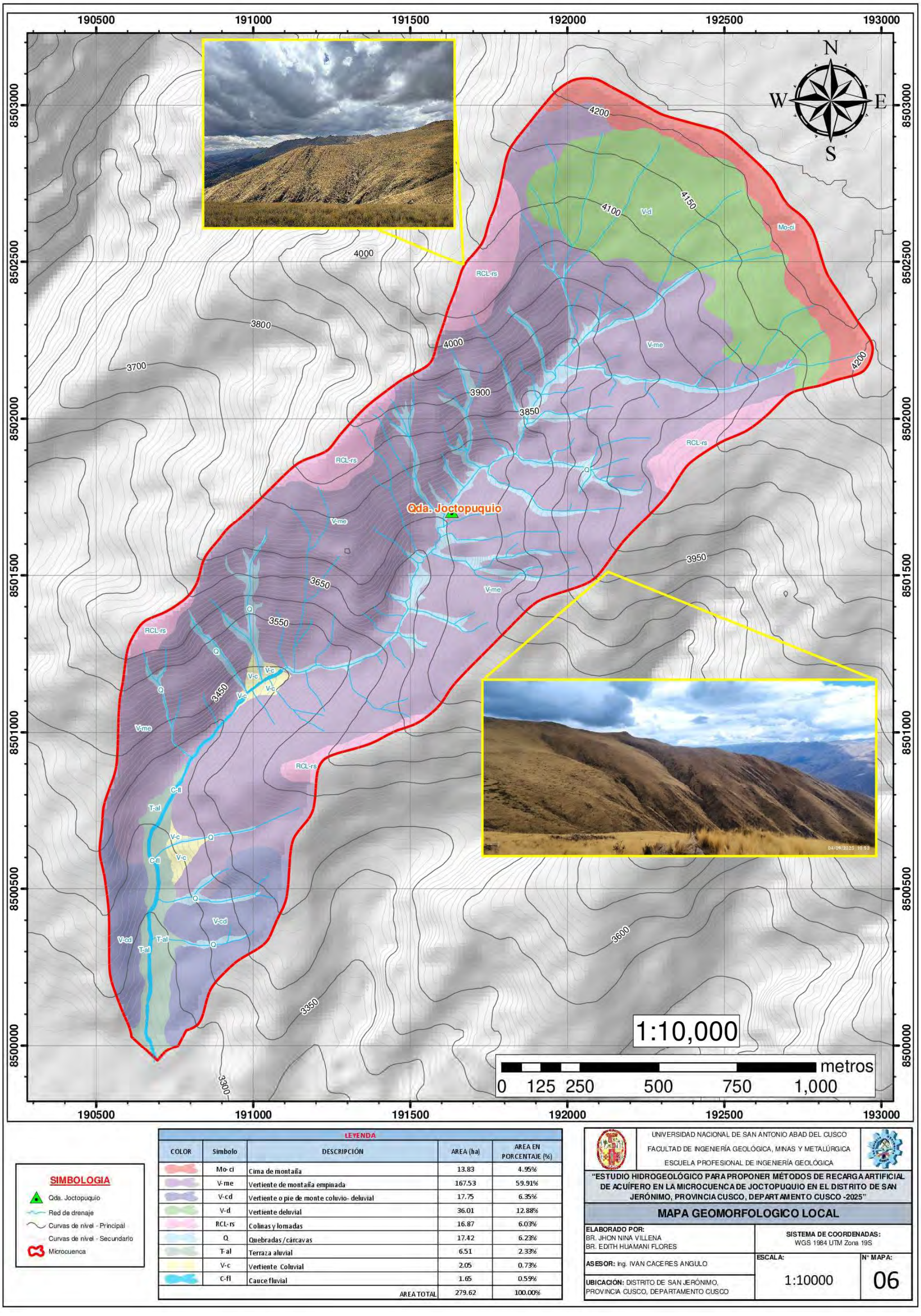
Esta geoforma presenta un relieve plano a medianamente accidentado, formada por la acción del agua por donde esta fluye.

Figura 23

Cauce fluvial que va desde la parte alta atreves de la microcuenca de Joctopuquio



Figura 24 *Mapa de Geomorfológico Local de la microcuenca de Joctopuquio*



Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

2.1.2.1 PENDIENTE

La pendiente es importante para determinar el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelos, estos ocasionados por la erosión, que da como resultados pendientes escarpadas a empinadas, mayor pendiente de la cuenca genera mayor rapidez en el viaje de la escorrentía, da como resultado caudales picos mayores. Para la elaboración del mapa de pendiente del mapa de pendiente se utilizó los parámetros según el "Reglamento De Clasificación De Tierras Minam-2002" tomados en la Tabla 13.

Tabla 13

Clasificación de pendiente de la microcuenca de Joctopuquio

PENDIENTE (%)	DESCRIPCIÓN	AREA (ha)	AREA EN PORCENTAJE (%)
0 - 3	Terrenos de pendiente plana	0.86	0.31%
3 - 7	Terrenos de pendiente suave	2.20	0.79%
7 - 12	Terrenos de pendiente medianamente accidentado	5.25	1.88%
12 - 20	Terrenos de pendiente accidentado	17.08	6.10%
20 - 35	Terrenos de pendiente fuertemente accidentado	88.91	31.77%
35 - 50	Terrenos de pendiente muy fuertemente accidentado	93.56	33.43%
50 - 75	Terrenos de pendientes escarpado	69.36	24.79%
>75	Terrenos muy escarpados	2.63	0.94%
	AREA TOTAL	279.84	100.00%

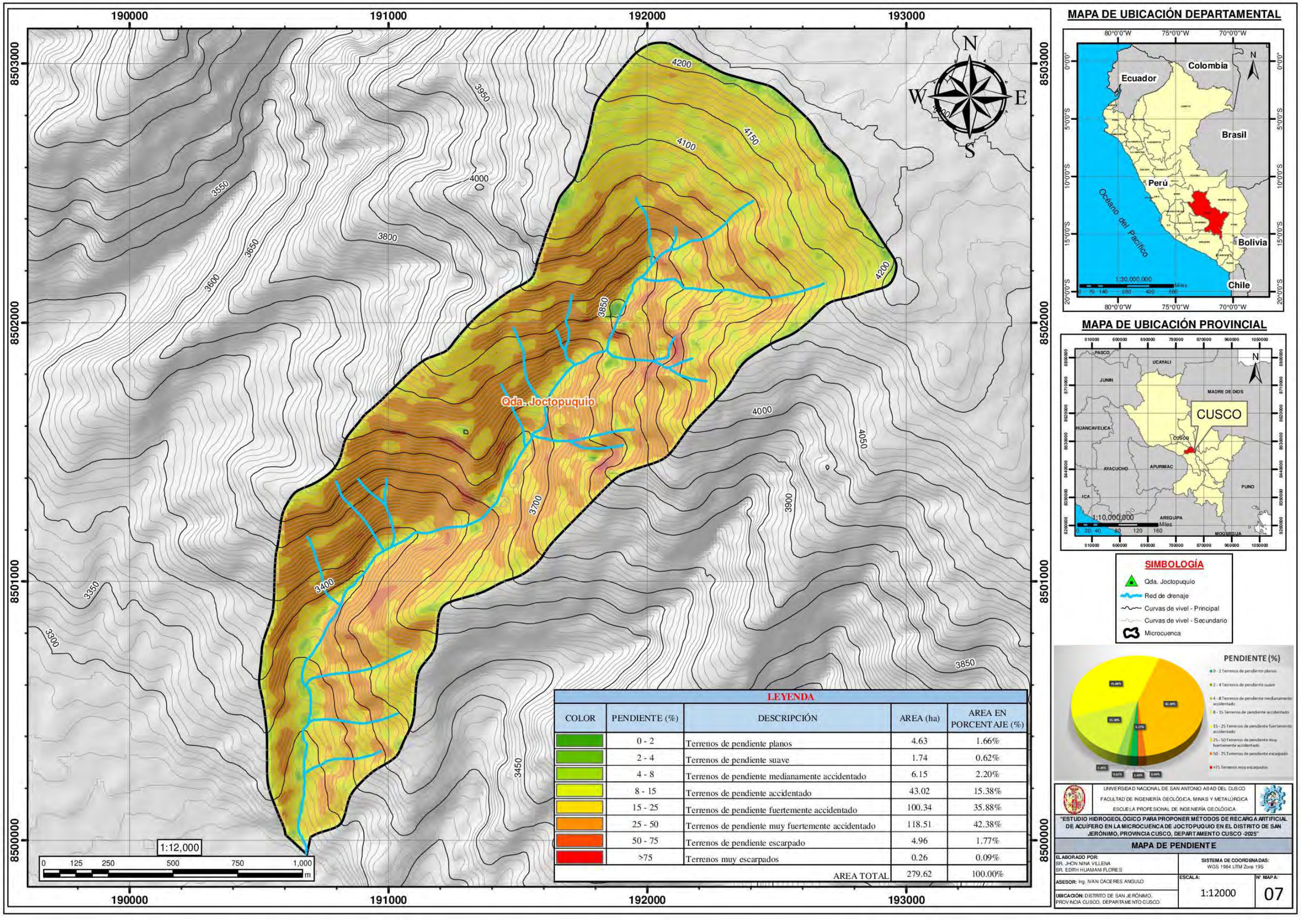
Esta clasificación de pendientes se realizó en el software ArcGIS para los cual los pasos a realizar fueron los siguientes:

- Se ingresa a la plataforma University of Alaska System para descargar el DEM (modelo digital de elevación) del Satélite ALOS PALSAR.
- Se generará un TIN (red irregular de triángulos).

- Se elaboro un modelo de pendientes SLOPE(Pendiente).

- El SLOPE (pendiente) se reclasifica el % de acuerdo al “Reglamento De Clasificación De Tierras Minam-2002”.

Figura 25 *Mapa de Pendiente de la microcuenca de Joctopuquio*



Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

2.2 GEOLOGÍA

2.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

PALEOGENO

A. GRUPO SAN JERONIMO (EOCENO -OLIGOGENO)

Según (Carlotto Caillaux, Geología del cuadrángulo de, 2011) el Grupo San Jerónimo originalmente ha sido dividido sobre dos Formaciones (Kayra y Soncco) que sobreyacen en discordancia erosional a las Formaciones Quilque y Chilca, principalmente constituido por areniscas feldespáticas intercaladas con limolitas y algunos bancos de conglomerados, todos de origen fluvial.

FORMACION KAYRA (Eoceno inferior)

Definición y relaciones estratigráficas. La Formación Kayra (Cordoba, 1986) aflora ampliamente al sur de la ciudad del Cusco, donde forma parte del sinclinal de Anahuarqui y anticlinal de Puquín, al oeste. Igualmente lo hace en el sinclinal de Ancaschaca, en yaurisque-Paruro, en el sinclinal de San Lorenzo y en el sector de Cusibamba-Sanka.

Está esencialmente constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas. Este conjunto se desarrolló en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación. La parte media-superior es más gruesa y está compuesta por areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcíticos de un medio fluvial altamente entrelazado. Hacia el sur las facies se hacen más gruesas y aparecen los conglomerados. La formación acaba con facies areno-pelíticas de llanura de inundación y canales divagantes. Las paleocorrientes indican que los aportes proceden del sur y suroeste.

FORMACIÓN SONCCO (Eoceno superior - Oligoceno inferior)

(Carlotto Caillaux, Geología del cuadrángulo de, 2011) Litología y ambiente de sedimentación. La Formación Soncco se divide en dos miembros:

El Miembro I o inferior (200-300 m) está constituido por lutitas rojas de llanura de inundación, intercaladas con niveles de areniscas finas (con mineralización de cobre).

El Miembro II o superior (1000 2000 m) está compuesto por areniscas con clastos blandos y conglomerados con clastos volcánicos de un sistema fluvial altamente entrelazado de procedencia S y SO.

B. CUATERNARIO

DEPÓSITOS ALUVIALES

Hemos considerado los conos aluviales dentro de estos depósitos. Estos conos están ubicados principalmente a la desembocadura de las quebradas adyacentes al rio Huatanay, Los conos están conformados por bloques y gravas, areniscas, etc., envueltos por una matriz areno-arcillosa.

DEPÓSITOS FLUVIALES

Estos depósitos han sido reconocidos en el fondo de los valles, particularmente del Huatanay, donde están constituidos por bancos de gravas y arenas, formando una o varias terrazas.

DEPÓSITOS COLUVIALES

Corresponde a los depósitos de pendiente donde se incluyen los deslizamientos. Igualmente destaca una gran cantidad de deslizamientos a lo largo del valle del río Huatanay. Son importantes los deslizamientos activos de Huamancharpa, cerca de la ciudad de Cusco, los del valle del Saphy y el deslizamiento de Yaurisque, por ser todos activos.

Figura 26

Cauce fluvial que va desde la parte alta atreves de la microcuenca de Joctopuquio

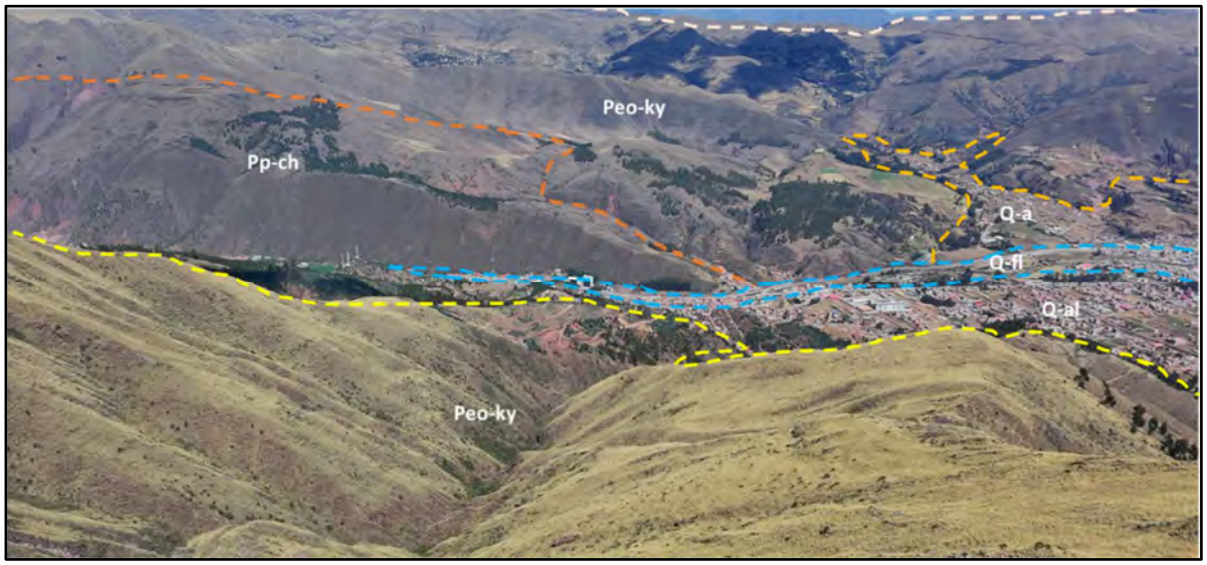
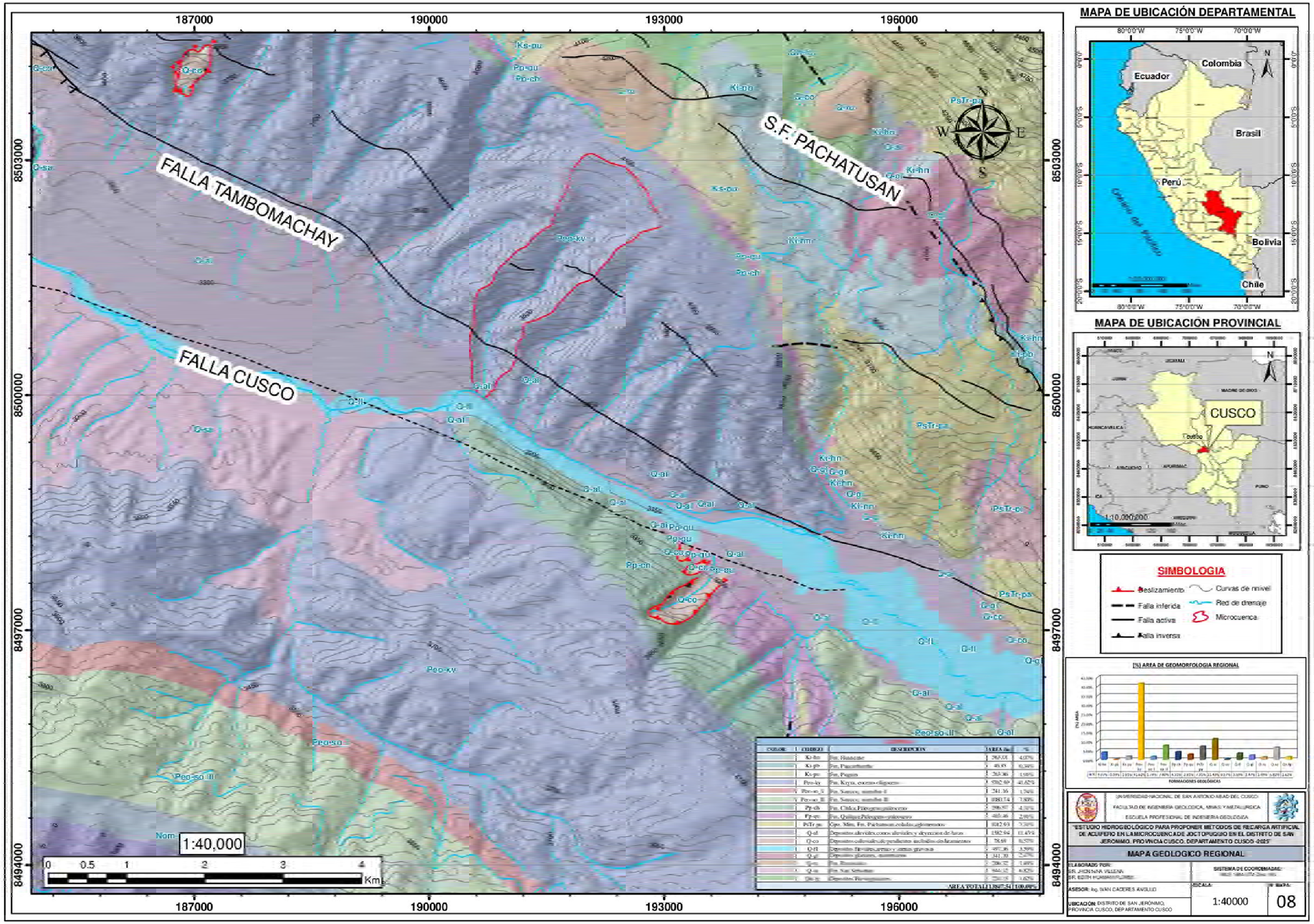


Figura 27 *Mapa de Geológico Regional de la microcuenca de Joctopuquio*



Nota: Adaptado del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2025)

2.2.2 GEOLOGÍA LOCAL

FORMACIONES GEOLOGICAS

A. FORMACION KAYRA

La Formación Kayra aflora al NE de la cuenca, ocupando gran parte de la extensión con 142.64 ha siendo este el 51.01 % del área total. Litológicamente está formada por areniscas feldespáticas (arcosas) y areniscas con presencia de clastos blandos (lutita) de coloración gris a gris rojizas con intercalación de lutitas con espesores que van desde 10 a 30 cm, formadas en un ambiente fluvial entrelazado y llanuras de inundación.

Figura 28

Se muestra lineamiento de las estratificaciones de la formación Kayra

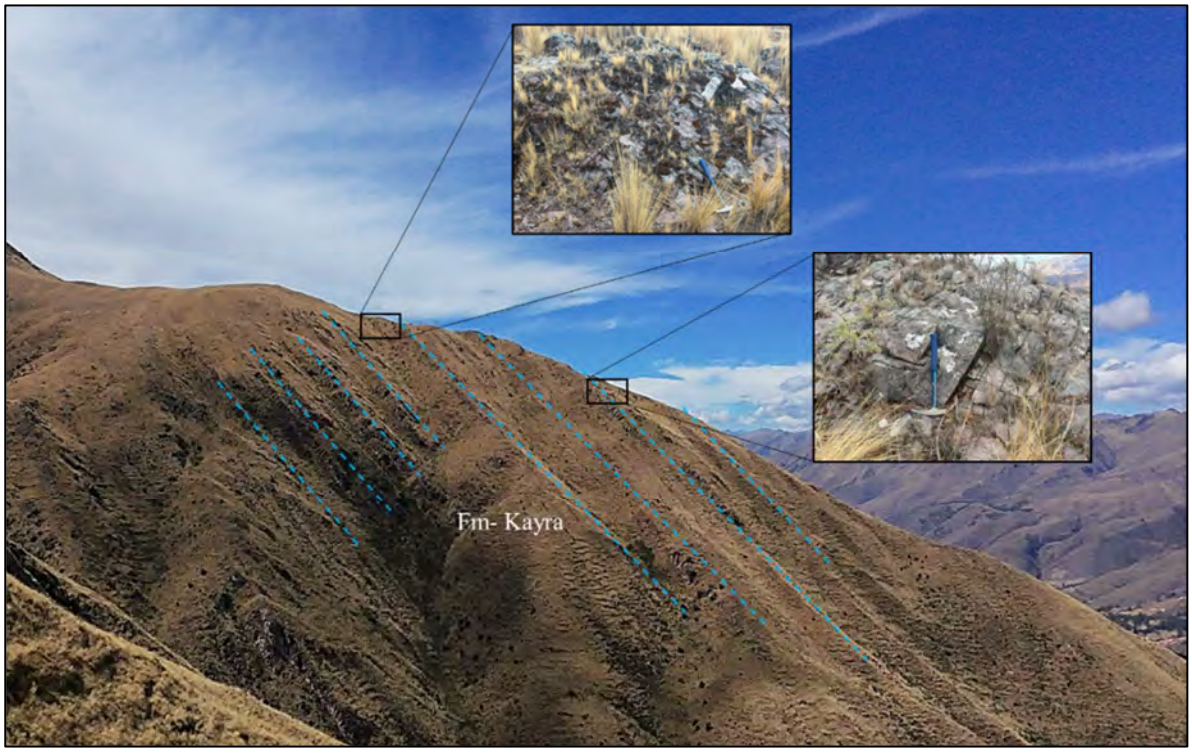


Figura 29

Fotografías tomadas de afloramiento en la formación Kayra



B. FORMACIÓN SONCCO

La Formación Soncco la encontramos desde la parte media de nuestra zona de estudio con un área 36.42 ha siendo este el 13.03 % del área total. Litológicamente está conformada por areniscas feldespáticas (arcosas) de grano fino a medio con espesores que van desde 1.00 a 2.00 m con intercalación de lutitas con espesores que van de 40 a 90 cm aproximadamente, también se encontró venillas de calcita de 1cm de espesor, en la parte basal de la formación se encontró 2 niveles de malaquita (Cu) presentes sobre lutita y arenisca, formadas en un ambiente fluvial entrelazado.

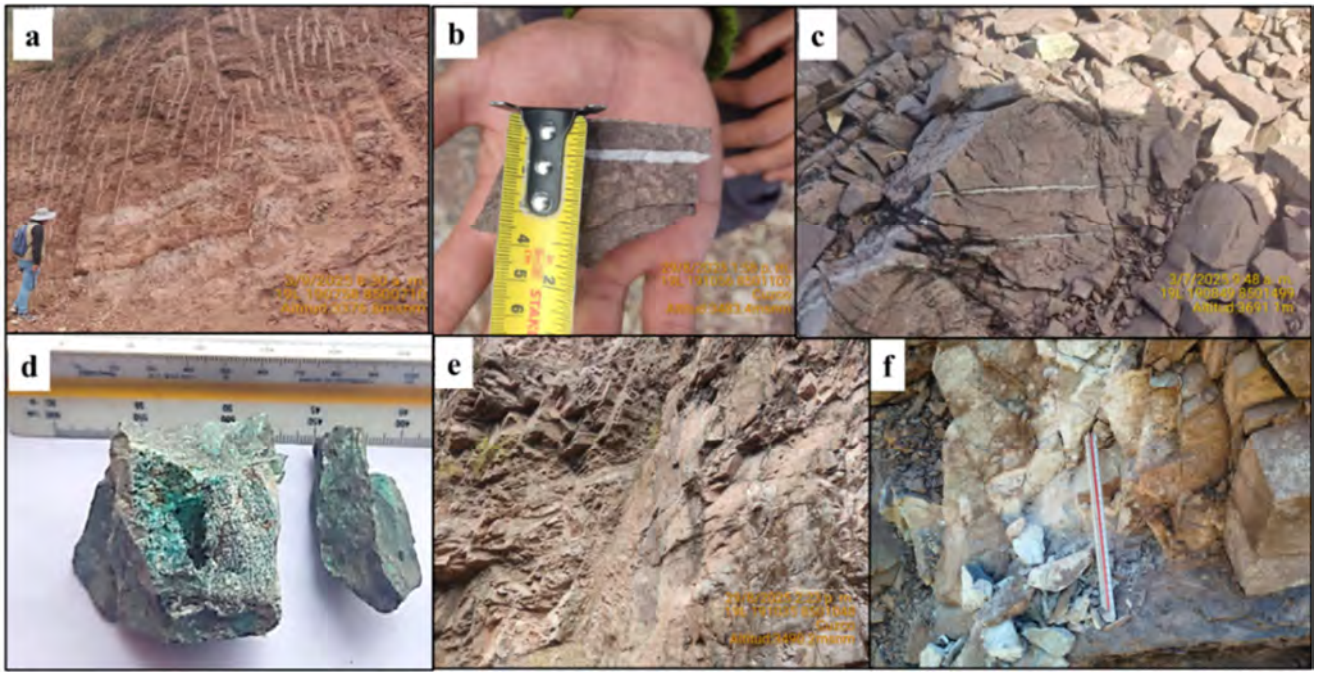
Figura 30

Se muestra lineamiento de las estratificaciones de la formación Soncco, también se observa muestras tomadas y se efervece debido a la cantidad de calcio



Figura 31

Fotografías tomadas de afloramiento y muestras en la formación Soncco



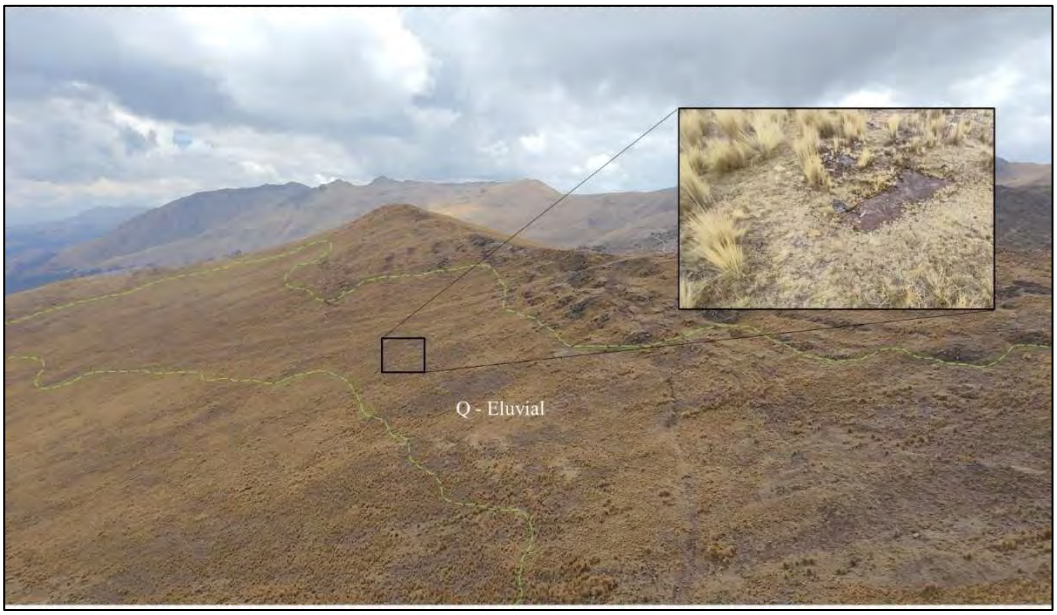
DEPOSITOS CUATERNARIOS

A. DEPOSITO ELUVIAL

Los depósitos eluviales se caracterizan por la erosión in situ de la Formación Kayra, que no tienen un trasporte significativo del lugar de origen, también llamado como deposito residual, estos conservan su estructura original, ocasionados por precipitación, humedad y temperatura, se encuentran ubicados en la parte alta de nuestra cuenca de estudio, su espesor vario de 0.5 a 1.00 m con un área de 27.06 ha y representa 9.68% de toda la zona de estudio.

Figura 32

Se muestra depósitos eluviales en la cabecera de la microcuenca de Joctopuquio



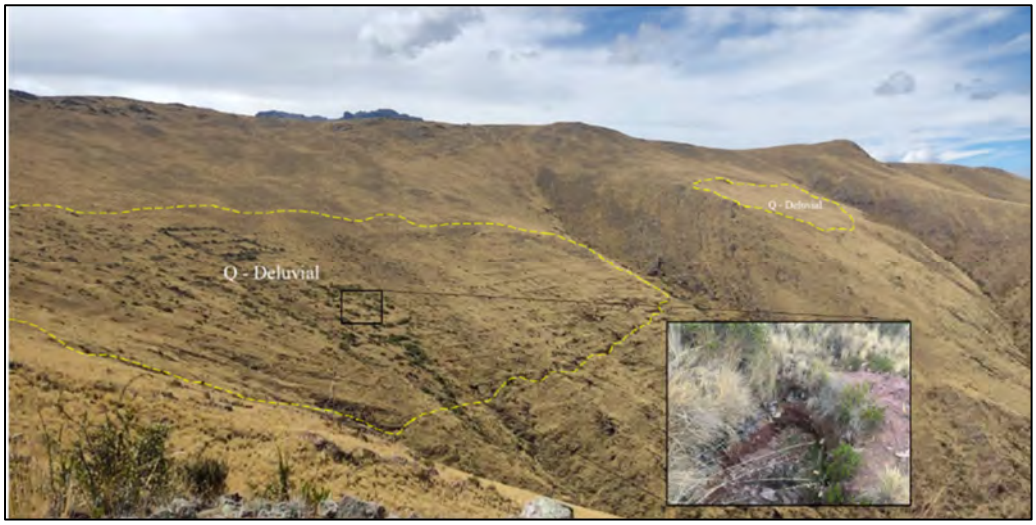
B. DEPOSITO DELUVIAL

Estos depósitos están ubicados en laderas de la Formación Kayra con talud suave a moderado generados por precipitación, gravedad, viento, compuestos capas finas de arcilla, arena

con inclusión de fragmentos de rocas angulosas pequeñas a medianas, tienen espesores de 2.30 a 4.00 m, estos depósitos tienen un área 21.23 ha que es el 7.59 % del área total de zona de estudio.

Figura 33

Se muestra depósitos deluviales en la cabecera de la microcuenca de Joctopuquio



C. DEPOSITO PROLUVIAL

Estos depósitos se caracterizan por corrientes de lluvia temporales, que se encuentran en el fondo de los valles tributarios y material arrastrado por flujo de detritos, tienen materiales como fragmentos heterométricos (cantos, bolos, bloques, etc.) con relleno arenoso-limoso, estos depósitos tienen un área 17.91 ha que es el 6.41% de la zona de estudio.

Figura 34

Se muestra depósitos deluviales en la cabecera de la microcuenca de Joctopuquio

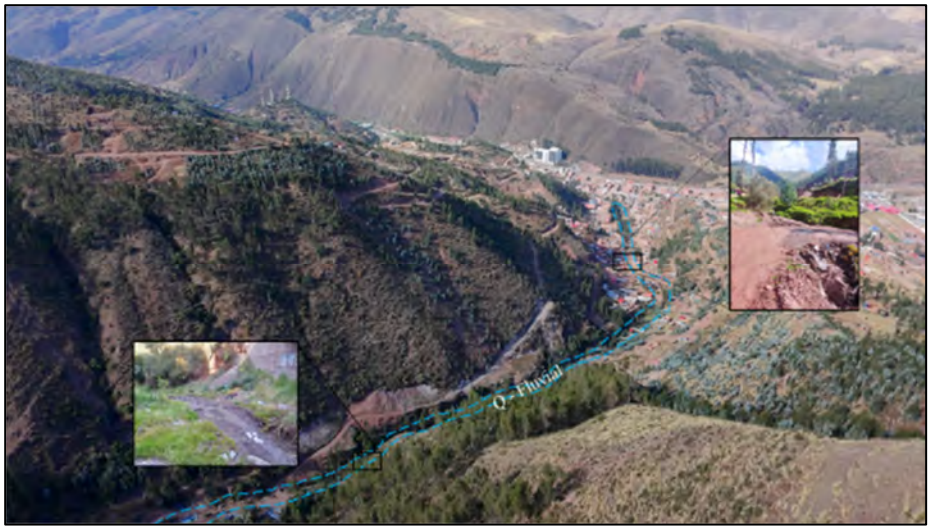


D. DEPOSITO FLUVIAL

Los depósitos fluviales son depósitos que se arrastran desde la parte media a baja de la cuenca, estas se caracterizan por la presencia de gravas (redondeadas -sub redondeada), arenas y limos, estos depósitos tienen un área 1.95 ha que es el 0.70 % de la zona de estudio.

Figura 35

Se muestran depósitos fluviales que atraviesan a la microcuenca de Joctopuquio

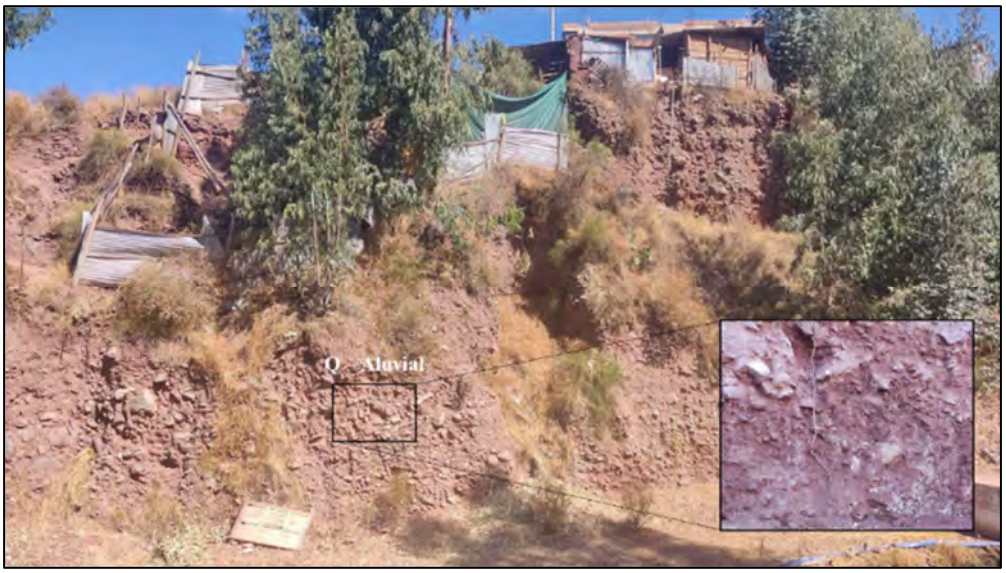


E. DEPOSITO ALUVIAL

Estos depósitos se hallan en los cauces antiguos en la parte baja de nuestra cuenca, constituido por gravas y bloques redondeados con matriz limo-arenoso, estos se depositaron en terrazas, estas áreas están siendo asentados por centros poblados. Estos depósitos tienen un área 10.48 que es el 3.75 % de la zona de estudio.

Figura 36

Se muestran un corte de depósitos aluviales presentes en la microcuenca de Joctopuquio



F. DEPOSITO COLUVIAL

Estos depósitos son generados por antiguos deslizamientos al pie de montaña, estos depósitos están formados por bloques angulosos y heterométricos con una matriz limo arenoso. Estos depósitos tienen un área 2.72 ha que es el 0.97% de la zona de estudio.



G. DEPOSITO COLUVIO-DELUVIAL

Son depósitos de origen coluvial (deslizamiento y derrumbes) – deluvial (depósitos con erosión de poco transporte) se encuentran medianamente compactados que recubren a la Formación Soncco y Kayra. Estos están compuestos por bloques angulosos a sub angulosos envueltos en matriz limo arenosa y arcilla. Estos depósitos tienen un área 19.20 ha que es el 6.87% de la zona de estudio.

2.2.2.1 DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS

Se obtuvieron muestras en distintos puntos de la Formación Kayra y Sonco, con fines de conocer y describir las características macroscópicas de la roca de ambas formaciones.

FORMACIÓN KAYRA

En las siguientes tablas se observa las muestras más representativas que se hallaron en la Formación Kayra.

Tabla 14

Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra KY-001

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA				
CODIGO DE MUESTRA	ky-001		FECHA:	3/09/2025
COORDENADAS UTM	X	8502740	ALTITUD	ZONA
	Y	191838	3256msnm	19L
FORMACIÓN:	Formacion Kayra			
COLOR:	Marron rojizo			
TIPO DE ROCA:	Sedimentaria detritica			
ESPESOR DE ESTRATO:	1.00-1.20			
ESTRUCTURAS INTERNAS:	Presenta una estructura masiva			
AMBIENTE SEDIMENTARIO:	Ambiente fluvial entrelazado y llanuara de inundacion			
COMPOSICIÓN:	Fracmentos de roca y en escaso porcentaje de feldespatos y cuarzo			
ALTERACIÓN:	Moderadamente alterado			
FRACTURAS:	Muy fracturado			
OBSERVACIONES				
Son areniscas de grano grueso -Sorting: Vell sorted 0.35- 0.50 -Empaquetamiento: Puntual a tangente -Madurez textural: Submaduro				
NOMBRE DE LA ROCA:	Arenisca feldespatica (Arcosa)			
FOTOGRAFIA CON LUPA	FOTOGRAFIA DE MUESTRA			
				

Tabla 15

Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra KY-002

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA				
CODIGO DE MUESTRA	Ky-002		FECHA:	3/09/2025
COORDENADAS UTM	X	8502321	ALTITUD	ZONA
	Y	191728	3325msnm	19L
FORMACIÓN:	Formacion Kayra			
COLOR:	Marron rojizo			
TIPO DE ROCA:	Sedimentaria detritica			
ESPESOR DE ESTRATO:	0.50-1.00 m			
ESTRUCTURAS INTERNAS:	Presenta una estructura masiva			
AMBIENTE SEDIMENTARIO:	Ambiente fluvial entrelazado y llanuara de inundacion			
COMPOSICIÓN:	Fracmentos de roca y en escaso porcentaje de feldespatos y cuarzo			
ALTERACIÓN:	Muy alterado			
FRACTURAS:	Muy fracturado			
OBSERVACIONES				
Lutita altamente fracturado -Sorting: <0.35 -Empaquetamiento: Saturado -Madurez textural: Inmaduro				
NOMBRE DE LA ROCA:	Lutita			
FOTOGRAFIA CON LUPA	FOTOGRAFIA DE MUESTRA			
				

Tabla 16

Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra KY-003

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA				
CODIGO DE MUESTRA	ky-003		FECHA:	3/09/2025
COORDENADAS UTM	X	8502286	ALTITUD	ZONA
	Y	192902	3325msnm	19L
FORMACIÓN:	Formacion Kayra			
COLOR:	Gris rojizo			
TIPO DE ROCA:	Sedimentaria detritica			
ESPESOR DE ESTRATO:	1.00-1.50 m			
ESTRUCTURAS INTERNAS:	Presenta una estructura masiva			
AMBIENTE SEDIMENTARIO:	Ambiente fluvial entrelazado y llanuara de inundacion			
COMPOSICIÓN:	Fracmentos de roca y en escaso porcentaje de feldespatos y cuarzo			
ALTERACIÓN:	Moderadamente alterado			
FRACTURAS:	Muy fracturado			
OBSERVACIONES				
Son areniscas de grano grueso con nodulos de lutitas -Sorting: Vell sorted 0.35- 0.50 -Empaquetamiento: Puntual a tangente -Madurez textural: SubSubmaduro				
NOMBRE DE LA ROCA:	Arenisca feldespatica (Arcosa)			
FOTOGRAFIA CON MUESTRA	**FOTOGRAFIA CON LUPA**			
				

Tabla 17

Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra KY-004

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA				
CODIGO DE MUESTRA	ky-004		FECHA:	3/09/2025
COORDENADAS UTM	X	191534	ALTITUD	ZONA
	Y	8501036	3256msnm	19L
FORMACIÓN:	Formacion Kayra			
COLOR:	gris oscuro			
TIPO DE ROCA:	Brecha			
ESPESOR DE ESTRATO:	0.80 - 1.00 m			
ESTRUCTURAS INTERNAS:	Presenta una estructura masiva			
AMBIENTE SEDIMENTARIO:	Ambiente fluvial entrelazado y llanuara de inundacion			
COMPOSICIÓN:	Clatos sub angulosos de 1cm a 4cm con matriz cementado de arenas			
ALTERACIÓN:	Moderadamente alterado			
FRACTURAS:	Muy fracturado			
OBSERVACIONES				
Son brechas conclastos sub redondeado que tienen costras calcarias -Sorting: Very poorly sorted 2.00-4.00 -Empaquetamiento: flotante -Madurez textural: inmaduro				
NOMBRE DE LA ROCA:	Conglomerado			
FOTOGRAFIA CON LUPA	**FOTOGRAFIA DE MUESTRA**			
				

FORMACIÓN SONCCO

Tabla 18

Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra SO-001

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA				
CODIGO DE MUESTRA	SO-001		FECHA:	3/09/2025
COORDENADAS UTM	X	190768.87	ALTITUD	ZONA
	Y	8500685.49	3518 msnm	19L
FORMACIÓN:	Formacion Soncco			
COLOR:	Gris blanquesina			
TIPO DE ROCA:	Sedimentaria detritica			
ESPESOR DE ESTRATO:	130 cm			
ESTRUCTURAS INTERNAS:	Presenta una estructura masiva			
AMBIENTE SEDIMENTARIO:	Ambiente fluvial entrelazado			
COMPOSICIÓN:	Areniscas ricas en feldespatos, fracmentos de roca y cuarzo en muy poco porcentaje.			
ALTERACIÓN:	Se observo una alta alteracion debido a los efectos climaticos			
FRACTURAS:	Muy fracturado			
OBSERVACIONES				
Son areniscas de grano medio con presencia de calcita en forma de costra ubicadas entre las fracturas de la roca. -Sorting: Vell sorted 0.35- 0.50 -Empaquetamiento: Puntual a tangente -Madurez textural: Sub masivo a discreta				
NOMBRE DE LA ROCA:	Arenisca feldespatica (Arcosa)			
FOTOGRAFIA CON LUPA	FOTOGRAFIA MUESTRA			
				

Tabla 19

Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra SO-002

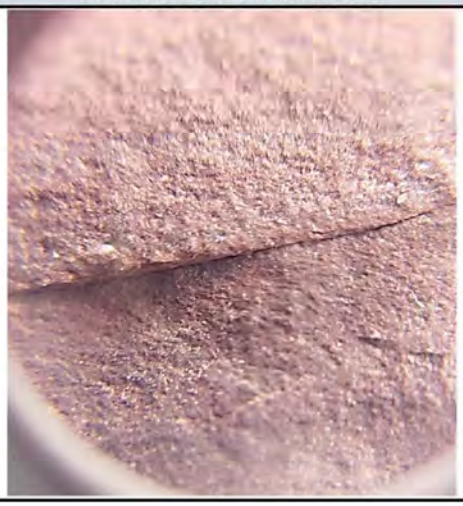
DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA				
CODIGO DE MUESTRA	SO-002		FECHA:	3/09/2025
COORDENADAS UTM	X	190769.87	ALTITUD	ZONA
	Y	8500686.49	3520 msnm	19L
FORMACIÓN:	Formacion Soncco			
COLOR:	Marron rojizo			
TIPO DE ROCA:	Sedimentaria detritica			
ESPESOR DE ESTRATO:	90 cm			
ESTRUCTURAS INTERNAS:	Presenta laminacion paralela			
AMBIENTE SEDIMENTARIO:	Ambiente fluvial entrelazado			
COMPOSICIÓN:	Fracmentos de roca y en escaso porcentaje de feldespatos y cuarzo			
ALTERACIÓN:	Se observo una alta alteracion en la capa superior del estrato			
FRACTURAS:	Muy fracturado			
OBSERVACIONES				
Lutitas con presencia de calcita en forma de costra ubicadas entre las fracturas de la roca. -Sorting: Very well sorted <0.35 -Empaquetamiento: Saturado -Madurez textural: Inmaduro				
NOMBRE DE LA ROCA:	Lutita			
FOTOGRAFIA CON LUPA	**FOTOGRAFIA DE MUESTRA**			
				

Tabla 20

Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra SO-003

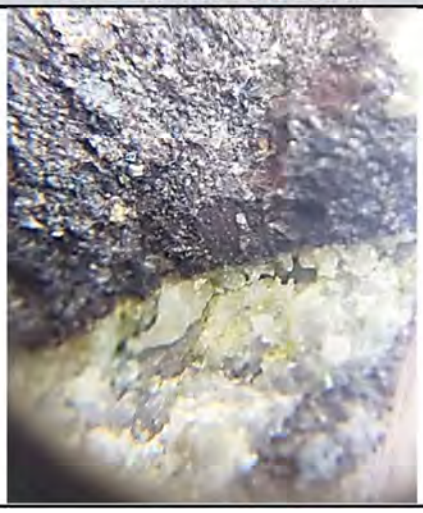
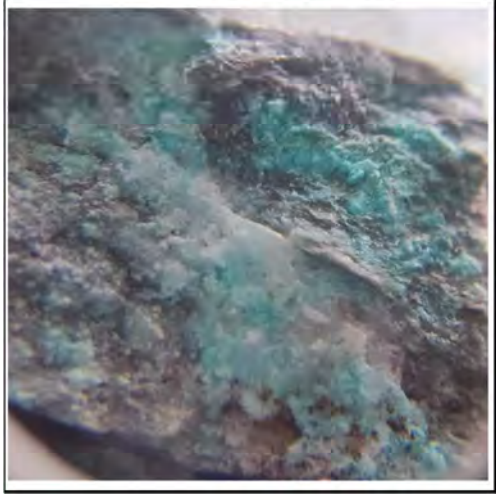
DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA				
CODIGO DE MUESTRA	SO-003		FECHA:	3/09/2025
COORDENADAS UTM	X	190769.87	ALTITUD	ZONA
	Y	8500686.49	3518 msnm	19L
FORMACIÓN:	Formacion Soncco			
COLOR:	Gris blanquesina			
TIPO DE ROCA:	Sedimentaria detritica			
ESPESOR DE ESTRATO:	120 cm			
ESTRUCTURAS INTERNAS:	Presenta una estructura masiva			
AMBIENTE SEDIMENTARIO:	Ambiente fluvial entrelazado			
COMPOSICIÓN:	Areniscas con alto porcentaje de feldespatos y fracmentos de roca y escaso porcentaje de cuarzo			
ALTERACIÓN:	Moderadamente alterado			
FRACTURAS:	Muy fracturado			
OBSERVACIONES				
Son areniscas de grano fino con presencia de minerales de calcita en forma de venilleo y costras acompañadas de clorita, ubicadas entre las fracturas de la roca. -Sorting: Vell sorted 0.35- 0.50 -Empaquetamiento: Puntual a tangente -Madurez textural: Sub masivo a discreta				
NOMBRE DE LA ROCA:	Grauvaca feldespatica			
FOTOGRAFIA CON LUPA	**FOTOGRAFIA DE MUESTRA**			
				

Tabla 21

Descripción macroscópica de las muestras tomadas en la microcuenca de Joctopuquio muestra SO-004

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA				
CODIGO DE MUESTRA	SO-004		FECHA:	3/09/2025
COORDENADAS UTM	X	19076.87	ALTITUD	ZONA
	Y	8500686.49	3518 msnm	19L
FORMACIÓN:	Formacion Soncco			
COLOR:	Gris oscura			
TIPO DE ROCA:	Lutita			
ESPESOR DE ESTRATO:	30 a 50 cm			
ESTRUCTURAS INTERNAS:	Presenta una estructura masiva			
AMBIENTE SEDIMENTARIO:	Ambiente fluvial entrelazado			
COMPOSICIÓN:	Areniscas con alto porcentaje de feldespatos y fracmentos de roca y escaso porcentaje de cuarzo			
ALTERACIÓN:	Moderadamente alterado			
FRACTURAS:	Muy fracturado			
OBSERVACIONES				
Son lutitas con incrustaciones de malaquita (Cu) en forma de costra entre las fracturas de las rocas -Sorting: Very well < 0.35 -Empaquetamiento: Saturado -Madurez textural: Inmaduro				
NOMBRE DE LA ROCA:	Lutita			
FOTOGRAFIA CON LUPA	**FOTOGRAFIA DE MUESTRA**			
				

2.2.2.2 ESTRATIGRAFIA DE LA CUENCA JOCTOPUQUIO

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA SECCIÓN A-A'

Según **Figura 37** se muestra a) Afloramiento de la Formación Soncco con estratificaciones con un Dip 32, Dip Direction 300 y Dip 76, Dip Direction 312; las estratificaciones están en contra de la infiltración , litológicamente está formada de intercalación de lutitas con areniscas de grano fino, lo cual nos indica que son grano crecientes, b) Se muestra el afloramiento de la Formación Kayra con un Dip 57, Dip Direction 124; c) Afloramiento de la Formación Kayra Dip 52, Dip Direction 122; d) contacto entre areniscas y lutitas; las estratificaciones están a favor de la infiltración , litológicamente está formada de intercalación de lutitas con areniscas de grano medio a grueso, lo cual nos indica que son grano crecientes, e) cabecera de cuenca sin un cambio significativo de Dip 53, Dip Direction 125.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA SECCIÓN B-B'

Según **Figura 38** se muestra a) Afloramiento de la Formación Soncco cubiertas por Depósitos Cuaternarios b) Se muestra el afloramiento de la Formación Kayra con un Dip 57, Dip Direction 124; c) Se muestra nódulos de lutitas en los estratos de areniscas; d) Afloramiento de la Formación Kayra con un Dip 48, Dip Direction 124 e) Cabecera de la cuenca cubierta por depósitos cuaternarios. Fuente: Elaboración propia

Figura 37

Sección A-A' de la microcuenca de Joctopuquio

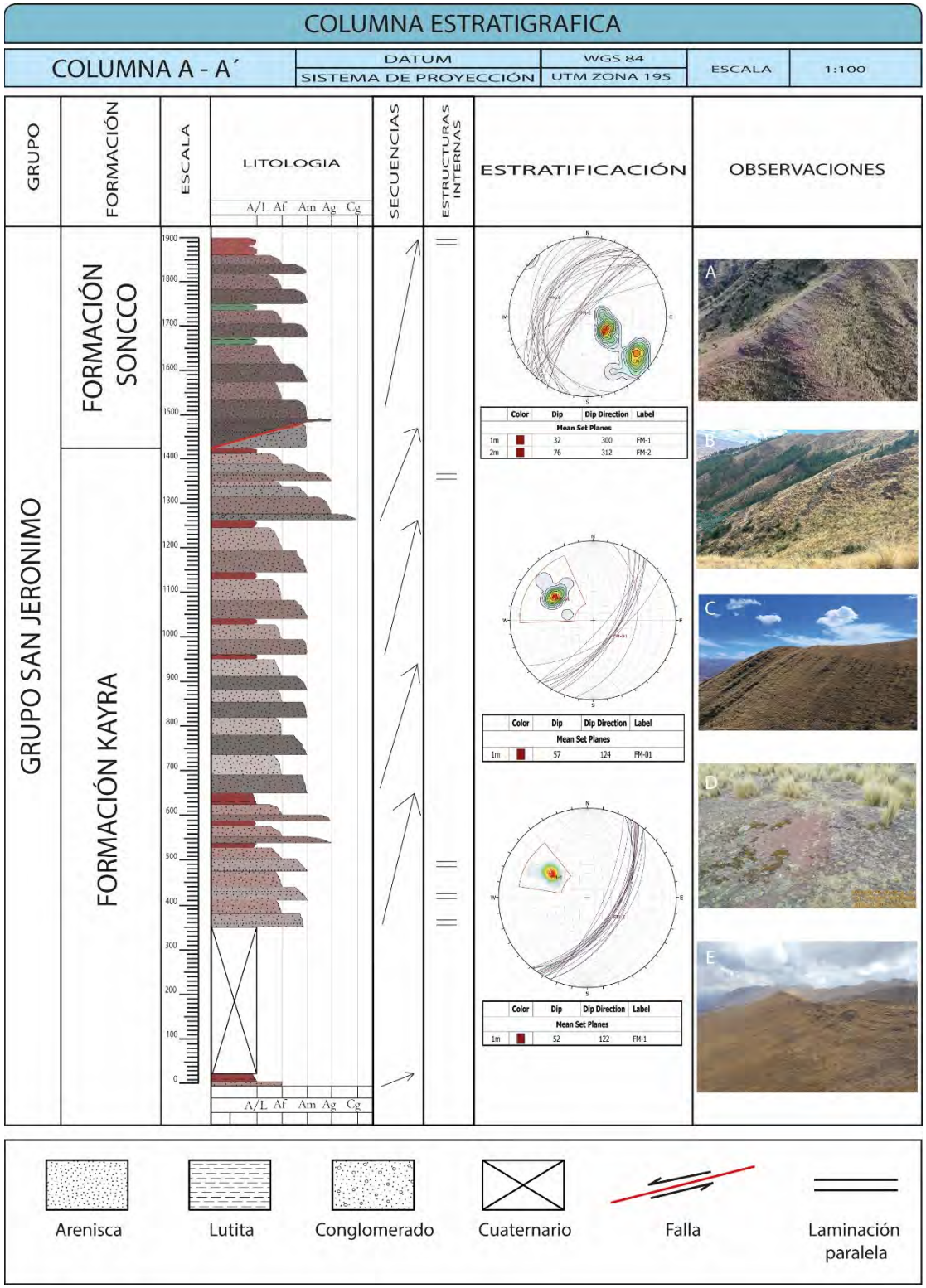
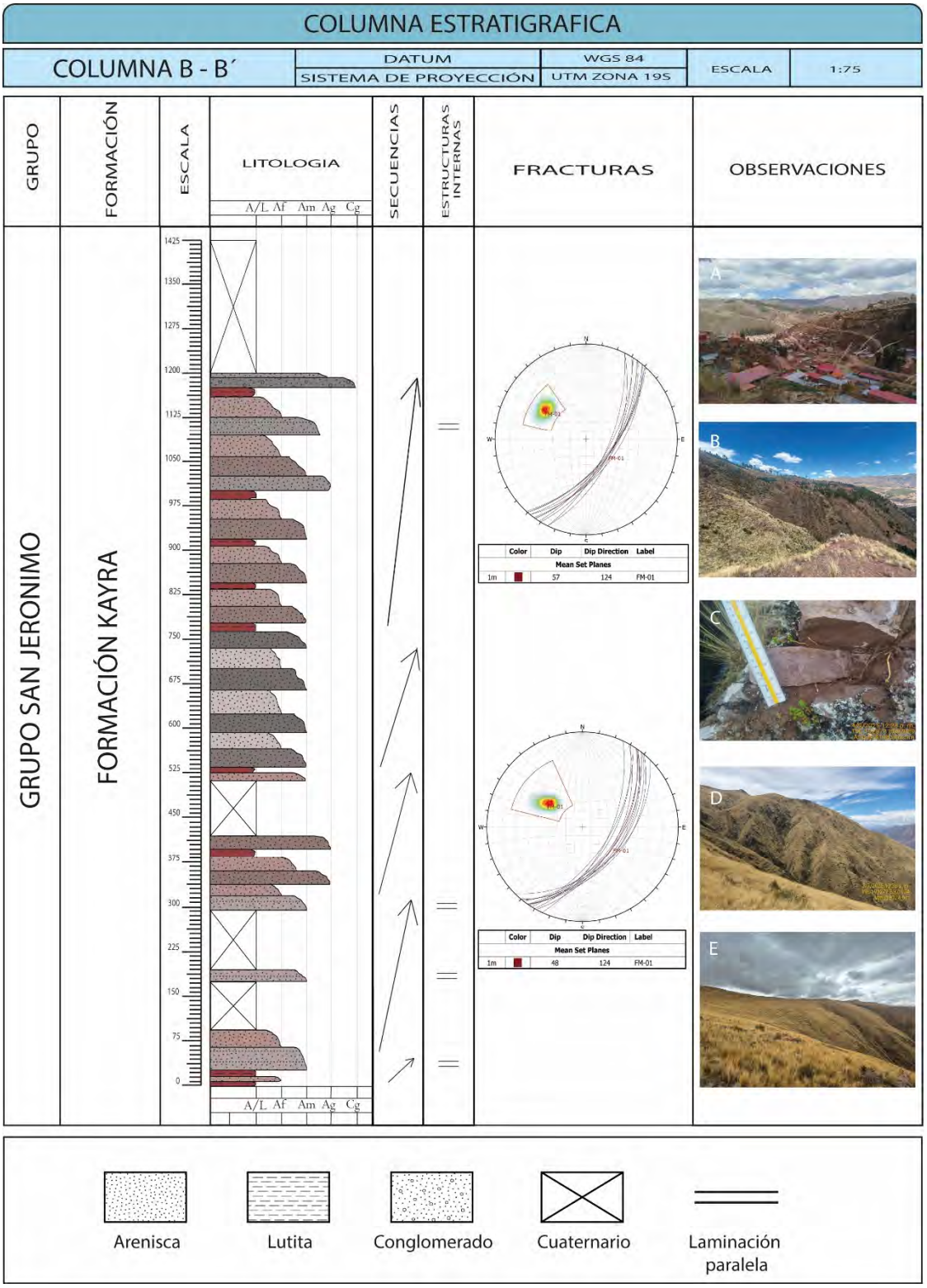


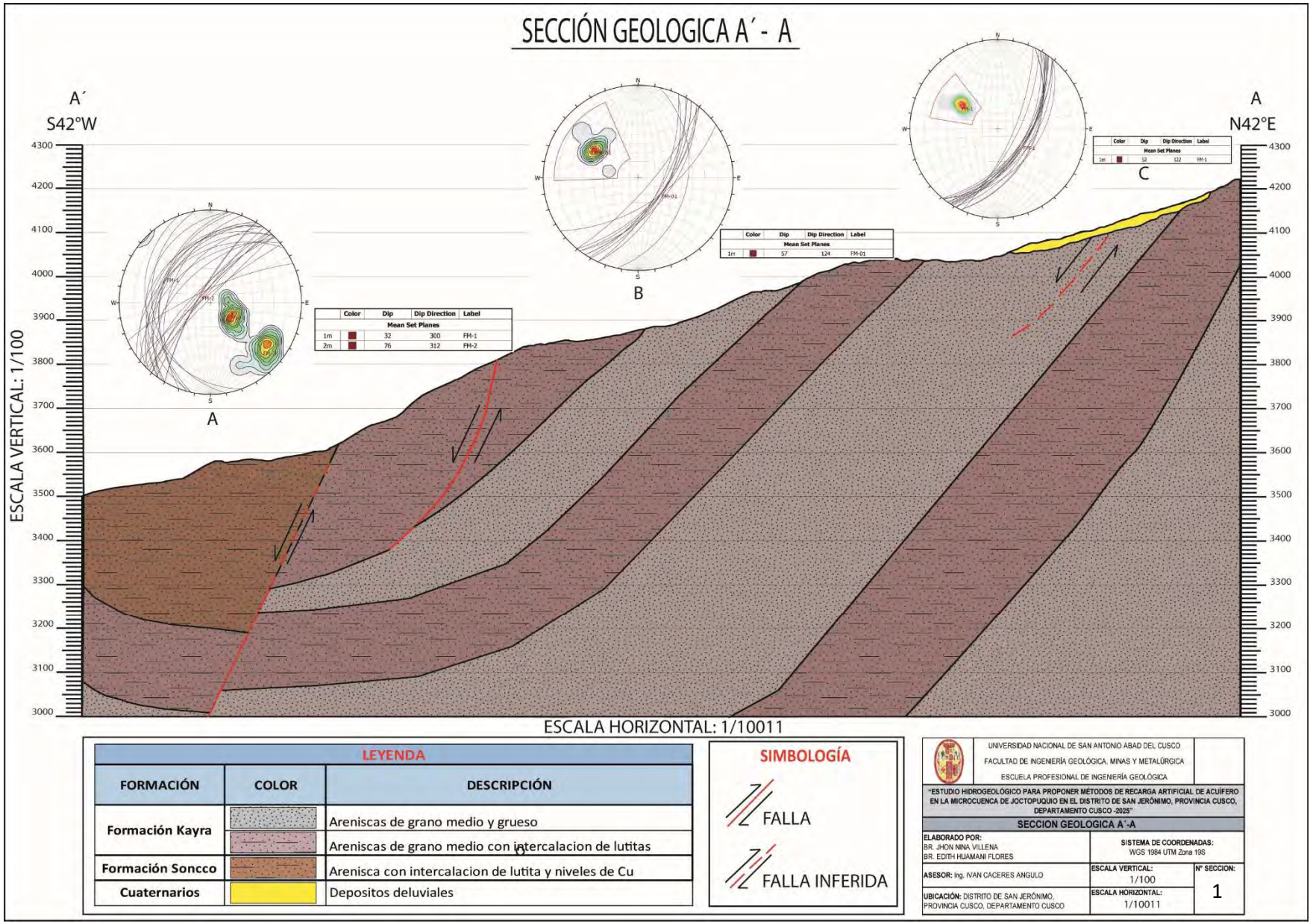
Figura 38

Sección B-B' de la microcuenca de Joctopuquio



2.2.2.3 SECCIONES GEOLÓGICAS

SECCIÓN GEOLÓGICA A-A'



SECCIÓN GEOLÓGICA B-B'

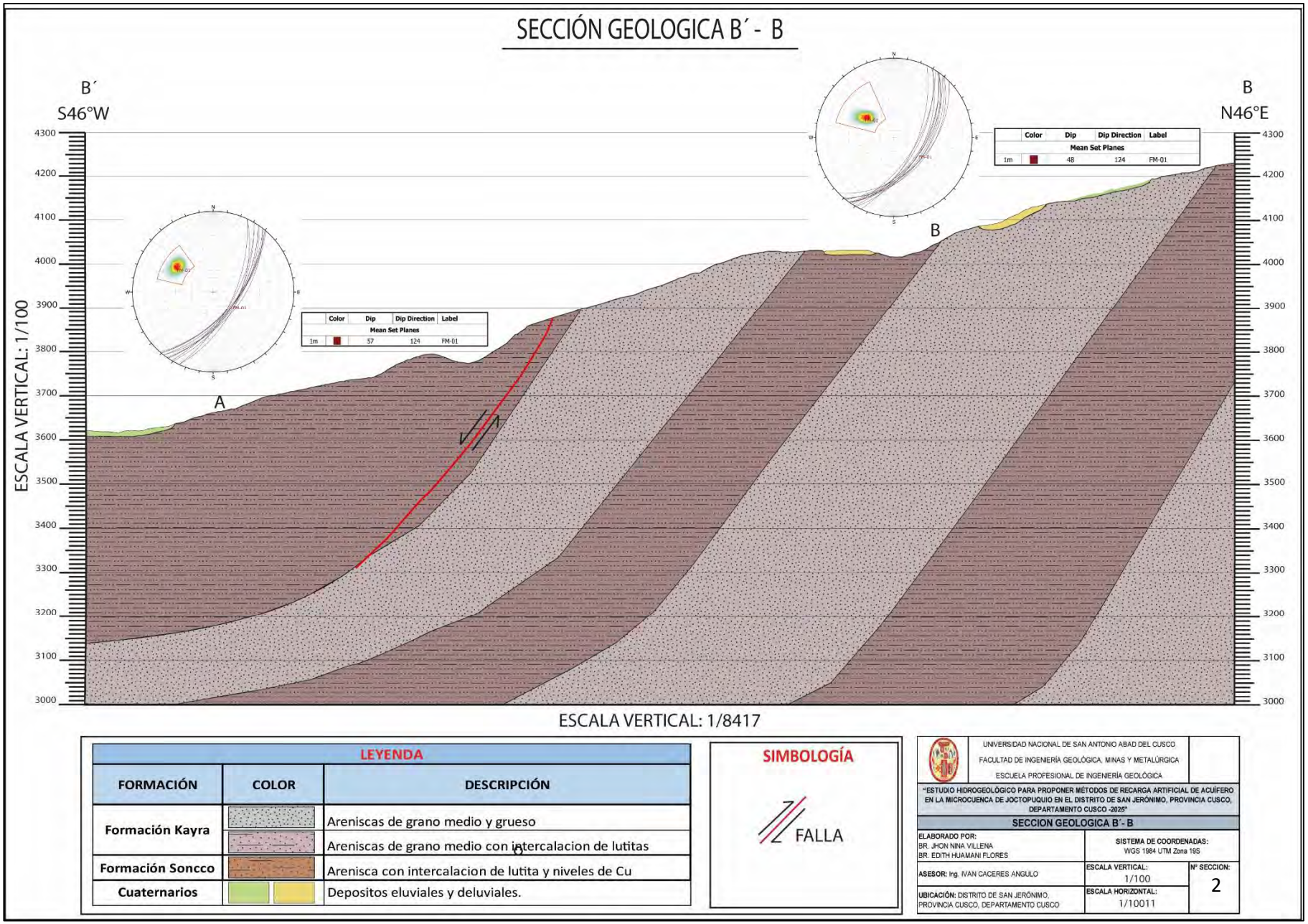
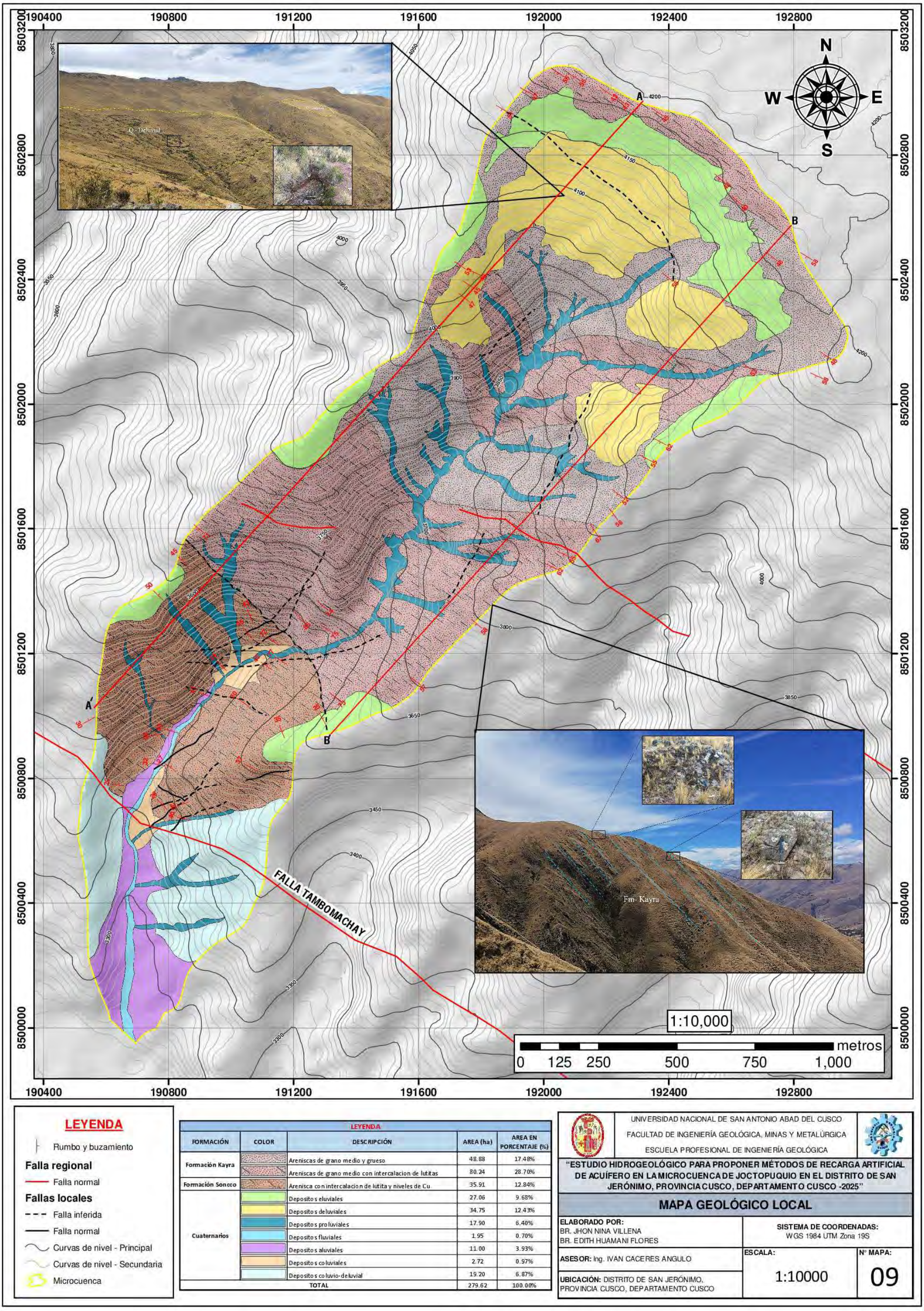


Figura 39 *Mapa de Geológico Local de la microcuenca de Joctopuquio*



LEYENDA				
FORMACIÓN	COLOR	DESCRIPCIÓN	AREA (ha)	AREA EN PORCENTAJE (%)
Formación Kayra		Areniscas de grano medio y grueso	48.88	17.48%
		Areniscas de grano medio con intercalacion de lutitas	80.24	28.70%
Formación Soncco		Arenisca con intercalacion de lutita y niveles de Cu	35.91	12.84%
Cuaternarios		Depositos eluviales	27.06	9.68%
		Depositos deluviales	34.75	12.43%
		Depositos proluviales	17.90	6.40%
		Depositos fluviales	1.95	0.70%
		Depositos aluviales	11.00	3.93%
		Depositos coluviales	2.72	0.97%
		Depositos coluvio-deluvial	19.20	6.87%
TOTAL			279.62	100.00%

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

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

MAPA GEOLÓGICO LOCAL

ELABORADO POR:
BR. JHON NINA VILLENA
BR. EDITH HUAMANI FLORES

SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM Zona 19S

ASESOR: Ing. IVAN CACERES ANGULO

ESCALA: 1:10000

N° MAPA: 09

UBICACIÓN: DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO

Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

2.3.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

FALLAS REGIONALES

La ciudad del Cusco y su entorno presentan una importante actividad tectónica asociada a la presencia de estructuras geológicas activas y potencialmente activas, lo que determina una susceptibilidad frente a la ocurrencia de eventos sísmicos de magnitud moderada. El registro histórico evidencia que la región ha sido afectada por importantes eventos sísmicos, entre los que destacan los terremotos de 1650, 1950 y 1986. En el valle del Cusco se reconocen estructuras tectónicas como las fallas Cusco y Tambomachay, así como el Sistema de Fallas Pachatusan, las cuales han contribuido a configurar el contexto geológico y estructural de la región.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la presencia de estas estructuras resulta relevante debido a que las fallas y fracturas pueden modificar las condiciones de permeabilidad y favorecer o restringir la circulación del agua subterránea, dependiendo de las características del material geológico y del grado de fracturamiento. Asimismo, estas estructuras pueden constituir zonas preferenciales para la infiltración, almacenamiento y flujo del agua subterránea, influyendo en el comportamiento de los sistemas acuíferos. Por ello, el análisis de las condiciones estructurales y geológicas del área de estudio constituye un aspecto importante para la caracterización hidrogeológica de la microcuenca de Joctopuquio y para la evaluación de alternativas orientadas a la recarga artificial del acuífero.

A. FALLA TAMBOMACHAY

La **Falla Tambomachay** se extiende aproximadamente 20 km, con una orientación predominante N120°, paralela a la cuenca del Cusco y ubicada a unos 4 km al norte de la ciudad.

Esta estructura tectónica atraviesa depósitos cuaternarios y ha sido caracterizada como una falla de tipo **normal-sinestral**, con evidencias de antecedentes de movimiento **inverso y dextral** (Cabrera, 1988; Rosell et al., 2023). Asimismo, presenta evidencias de actividad asociada a movimientos normales, con buzamientos que varían entre 50° y 70° hacia el sur (Rosell et al., 2023). Su presencia constituye un elemento relevante dentro de la configuración estructural del valle del Cusco, debido a que las zonas de fracturamiento asociadas a fallas pueden influir en las condiciones de permeabilidad y en la circulación del agua subterránea.

2.3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

En la parte baja de la zona de estudio se encuentra la Falla Regional Tambomachay, con una orientación predominante NW–SE, la cual se encuentra parcialmente cubierta por depósitos cuaternarios. Asociado a esta estructura regional, se ha identificado un sistema de fallas locales que evidencia la influencia de la tectónica sobre las unidades geológicas presentes en el área de estudio. Estas estructuras han generado desplazamientos, zonas de fracturamiento y variaciones en la orientación de la estratificación de las formaciones Kayra y Soncco. Las discontinuidades estructurales identificadas constituyen elementos relevantes para la interpretación de las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona, debido a que el grado de fracturamiento y la disposición de las estructuras pueden modificar las características de permeabilidad y, consecuentemente, las condiciones de circulación del agua subterránea.

A. ESTRUCTURAS PRIMARIAS

La estratificación es una estructura primaria importante para determinar los procesos geológicos que ocurrieron en nuestra zona de estudio, para lo cual se tomaron datos planares de la estratificación tales como Azimut y Buzamiento con una brújula Brunton para mostrar su

orientación de la estratificación en la Formación Kayra y la Formación Soncco para lo cual aremos uso del programa Stereonet Plot.

En los estudios hidrogeológicos, es fundamental determinar la dirección y el buzamiento de los estratos correspondientes a las formaciones Kayra y Soncco, debido a que la disposición de estas estructuras geológicas puede ejercer un control importante sobre la infiltración, circulación y distribución del agua subterránea. En particular, los planos de estratificación pueden constituir vías preferenciales para el desplazamiento del agua meteórica infiltrada, favoreciendo su circulación hacia niveles más profundos del subsuelo. Asimismo, la orientación y el grado de inclinación de los estratos, en interacción con el fracturamiento y las características litológicas de estas formaciones, condicionan la trayectoria del flujo subterráneo y, por tanto, las condiciones hidrogeológicas del área de estudio.

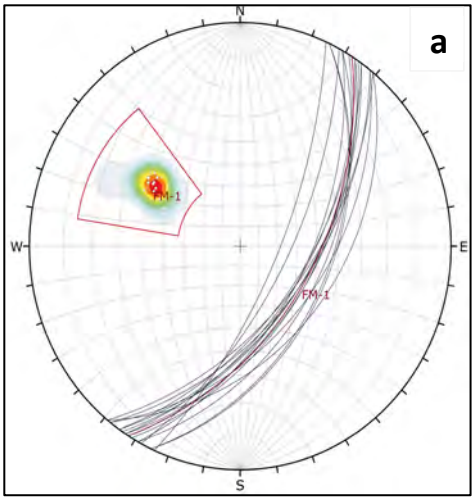
ESTRATIFICACIÓN DE LA FORMACIÓN KAYRA

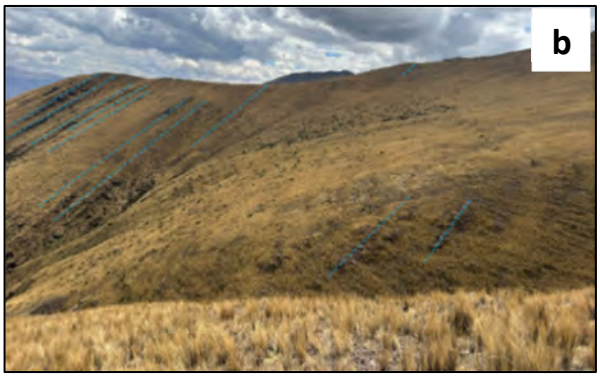
En la parte alta de la **Formación Kayra** se recopilaron 16 mediciones de orientación y buzamiento de los estratos, cuyos valores se presentan en la **Tabla 22**. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados mediante el programa **Stereonet Plot**, utilizando la representación estereográfica de las mediciones estructurales. Como resultado del análisis, se determinó una **Dip Direction de 122**° y un **Dip de 52**°. Estos parámetros permiten caracterizar la orientación predominante de los estratos de la Formación Kayra en la parte alta de nuestra zona de estudio indican que son favorables para la infiltración de aguas meteóricas atreves del plano de estratificación.

Tabla 22

Medición de datos de estratificación de la Formación Kayra Alta de la microcuenca de Joctopuquio

FORMACION KAYRA ALTA				
N°	AZIMUT	BUZAMIENTO	COORDENADAS	
			ESTE	NORTE
1	N 114°	70° SW	191955	8503018
2	N 125°	56° SW	192045	8503061
3	N 115°	43° SW	191776	8502421
4	N 128°	47° SW	191744	8502339
5	N 123°	51° SW	191752	8502372
6	N 115°	44° SW	192329	8502475
7	N 129°	41° SW	192400	8502398
8	N 119°	47° SW	191944	8503002
9	N 128°	53° SW	192646	8502122
10	N 118°	65° SW	192372	8501877
11	N 125°	53° SW	192333	8501795
12	N 121°	51° SW	191865	8502946
13	N 124°	53° SW	191730	8502444
14	N 123°	55° SW	191759	8502381
15	N 119°	55° SW	192324	8501825
16	N 129°	55° SW	192395	8502406





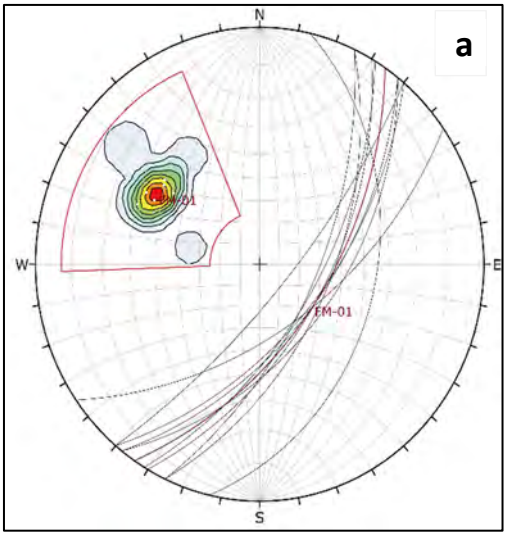
	Color	Dip	Dip Direction	Label
	Mean Set Planes			
1m		52	122	FM-1

La estratificación en la parte baja de la Formación Kayra, tiene una dirección a favor de la pendiente de la microcuenca de estudio, para el análisis se tomaron 10 datos (Ver Tabla 23), donde se obtuvo resultados de Dip 57 y Dip Direction 124.

Tabla 23

Medición de datos de estratificación de la Formación Kayra Baja de la microcuenca de Joctopuquio

FORMACION KAYRA BAJA				
N°	AZIMUT	BUZAMIENTO	COORDENADAS	
			ESTE	NORTE
1	N 128°	52° SW	192236	8501710
2	N 145°	58° SW	192222	8501644
3	N 115°	55° SW	192063	8501515
4	N 115°	62° SW	192022	8501476
5	N 130°	58° SW	191784	8501294
6	N 103°	35° SW	191585	8501150
7	N 128°	57° SW	191589	8501110
8	N 120°	57° SW	191584	8501062
9	N 121°	61° SW	191313	8501021
10	N 130°	75° SW	191330	8501060





	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		57	124	FM-01

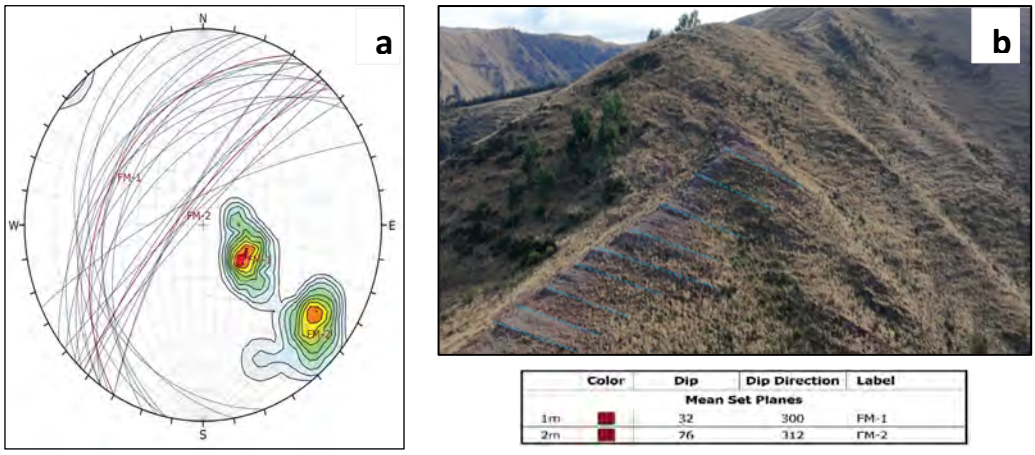
ESTRATIFICACIÓN DE LA FORMACIÓN SONCCO

En la Formación Soncco, la orientación de la estratificación no es favorable a la dirección de infiltración de la microcuenca de estudio. Para determinar la disposición de los estratos, se realizaron 24 mediciones de dirección y buzamiento, cuyos resultados se presentan en la **Tabla 24.** El análisis de estos datos permitió obtener dos orientaciones predominantes: la primera presenta un Dip de 32° y un Dip Direction de 300°, mientras que la segunda presenta un Dip 76° y Dip Direction de 312°. Estos resultados pueden condicionar la infiltración y circulación del agua subterránea a través de los planos de estratificación.

Tabla 24

Medición de datos de estratificación de la Formación Soncco de la microcuenca de Joctopuquio

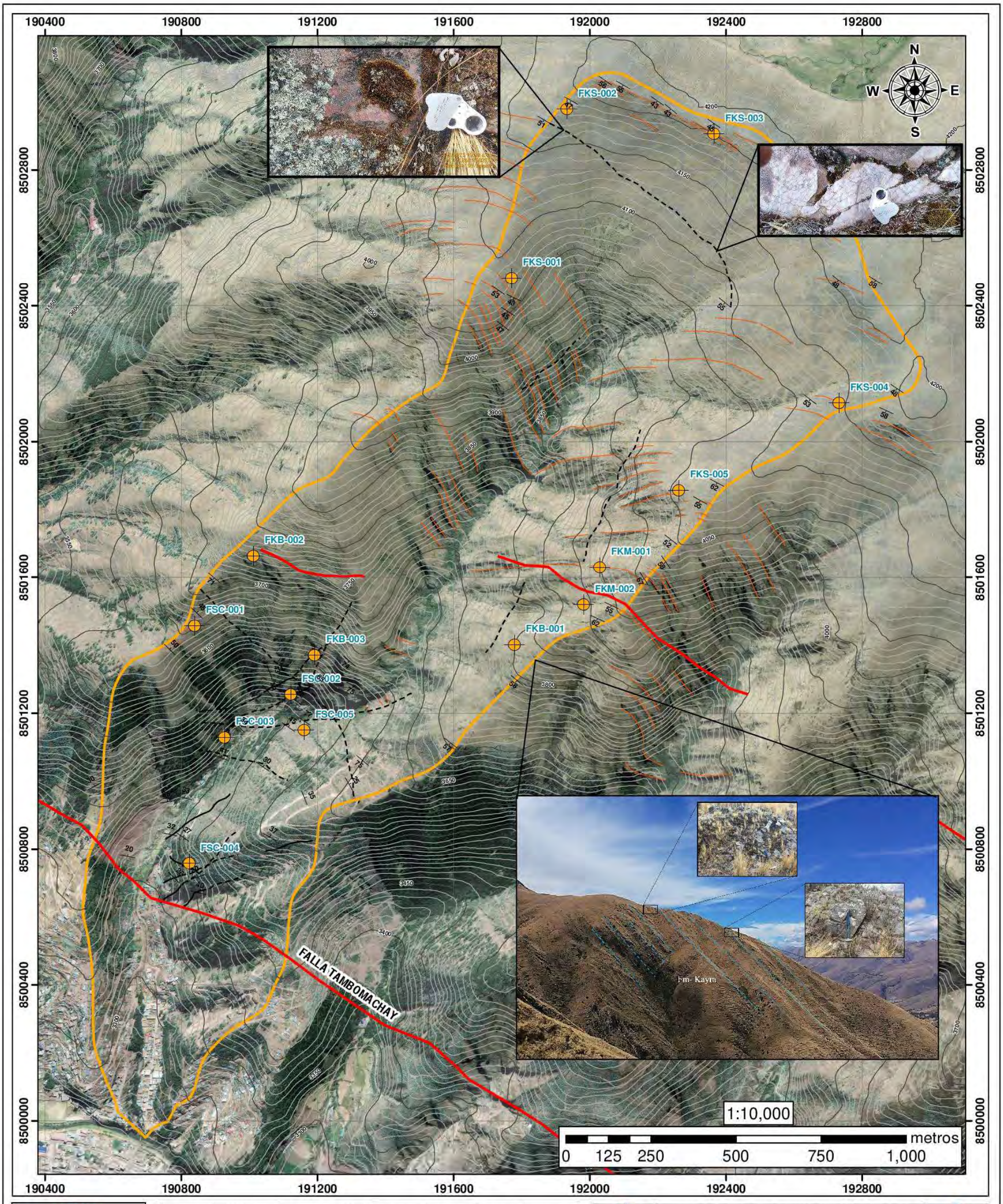
FORMACION SONCCO				
N°	AZIMUT	BUZAMIENTO	COORDENADAS	
			ESTE	NORTE
1	N 300°	74° NE	191136	8501241
2	N 315°	70° NE	191138	8501240
3	N 300°	75° NE	191161	8501180
4	N 306°	78° NE	191165	8501182
5	N 305°	45° NE	191115	8501162
6	N 313°	34° NE	190971	8501162
7	N 314°	86° NE	191121	8501256
8	N 321°	81° NE	191125	8501257
9	N 324°	35° NE	191055	8501267
10	N 316°	52° NE	191056	8501262
11	N 310°	80° NE	190969	8501248
12	N 335°	74° NE	190965	8501247
13	N 310°	72° NE	191041	8501320
14	N 320°	43° NE	191062	8501322
15	N 305°	30° NE	191041	8501045
16	N 302°	35° NE	191040	8501043
17	N 315°	26° NE	190781	8500717
18	N 305°	27° NE	190806	8500838
19	N 301°	31° NE	190846	8500720
20	N 290°	41° NE	190917	8501071
21	N 285°	33° NE	190809	8500954
22	N 260°	25° SW	190759	8500942
23	N 282°	20° NE	190642	8500781
24	N 282°	32° NE	190766	8500847



UBICACIÓN DE ESTACIONES GEOMECÁNICAS

Para la recolección de datos estructurales se realizó la recolección de datos de fracturas y fallas que se encuentran sobre rocas Sedimentarias de Formación Kayra y Soncco, por lo que se tomó datos de 15 estaciones estructurales estas plantillas se puede ver los Anexos.

Figura 40 *Mapa de Estaciones geomecánicas microcuenca de Joctopuquio*



LEYENDA

- Estaciónes Geomecanicas
- Rumbo y buzamiento
- Lineamientos

Falla regional
- Falla normal

Fallas locales
- Falla inferida
- Falla normal
- Curvas de nivel - Principal
- Curvas de nivel - Secundaria
- Microcuenca

FORMACION	ESTACION GEOMECNICA	COORDENADAS NORTE	COORDENADAS ESTE	RQD (%)	CALIDAD	RMD	DESCRIPCION
FORMACION KAYRA	FKS-001	8502483	191770	50-75	Regular	50	III Regular
	FKS-002	8502980	191933	50-75	Regular	52	III Regular
	FKS-003	8502907	192365	25-50	Mala	40	IV Mala
	FKS-004	8502114	192732	50-75	Regular	50	III Regular
	FKS-005	8501858	192261	25-50	Mala	45	III Regular
	FKM-001	8501631	192029	50-75	Regular	45	III Regular
	FKM-002	8501520	191981	50-75	Regular	50	III Regular
	FKB-001	8501402	191779	25-50	Mala	50	III Regular
	FKB-002	8501665	191012	50-75	Regular	52	III Regular
	FKB-003	8501151	191160	25-50	Mala	46	III Regular
FORMACION SONCCO	FSC-001	8501458	190839	0-25	Muy mala	48	III Regular
	FSC-002	8501256	191121	25-50	Mala	51	III Regular
	FSC-003	8501130	190926	50-75	Regular	51	III Regular
	FSC-004	8500758	190823	50-75	Regular	49	III Regular
	FSC-005	8501151	191160	50-75	Regular	56	III Regular

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

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES GEOMECANICAS

ELABORADO POR:
BR. JHON NINA VILLENA
BR. EDITH HUAMANI FLORES

SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM Zona 19S

ASESOR: Ing. IVAN CACERES ANGULO

ESCALA: 1:10000

N° MAPA: 10

UBICACIÓN: DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO

Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

B. ESTRUCTURAS SECUNDARIAS

B.1 FRACTURAS

La zona de estudio está constituida principalmente por rocas sedimentarias, en las cuales se evidenció la presencia de estructuras geológicas secundarias, como fracturas y fallas, que influyen en las características del macizo rocoso. Para evaluar las condiciones geomecánicas de estas unidades, se realizaron 15 ventanas estructurales, en cada una de las cuales se recopilaron datos relacionados con el RQD, espaciamiento, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, grado de alteración y condiciones de agua subterránea. Estos parámetros fueron evaluados con la finalidad de determinar el Índice de Calidad de la Roca (RMR) y, de esta manera, caracterizar la calidad y las condiciones del macizo rocoso presente en la zona de estudio.

ESTACIONES GEOMECÁNICAS FORMACIÓN KAYRA

ESTACIÓN GEOMECÁNICA 1 (FKS-001)

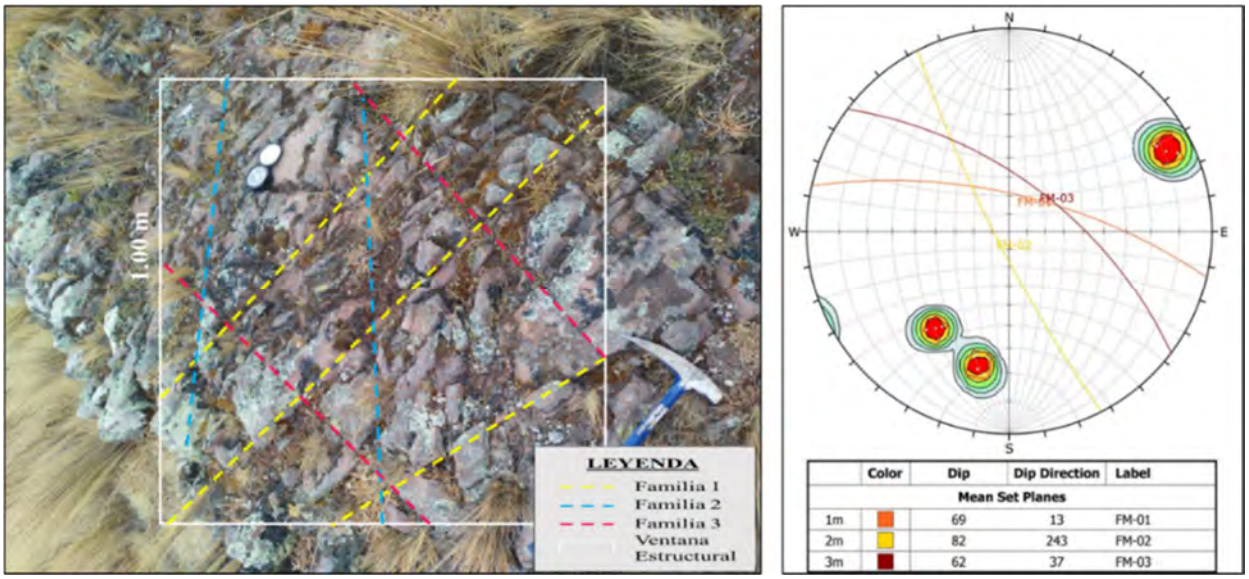
La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8 502 483 m y Este 191 770 m, donde aflora una secuencia de areniscas de grano medio, que presentan fracturas con relleno de arcillas y material orgánico. Las discontinuidades presentan una abertura comprendida entre 8 y 10 mm y evidencian cierto grado de alteración, asociado principalmente a los procesos de meteorización.

En esta estación se analizaron 9 mediciones estructurales, las cuales fueron agrupadas en tres familias de discontinuidades. Para la Familia 1 se consideraron 3 mediciones, obteniéndose un promedio de Dip de 69° y Dip Direction de 13°. En la Familia 2 se analizaron 3 mediciones, con un promedio de Dip de 82° y Dip Direction de 243°.

Finalmente, la Familia 3 estuvo conformada por 3 mediciones, obteniéndose un promedio de Dip de 62° y Dip Direction de 37°.

Figura 41

Se muestra la ventana estructural FKS-001 en la microcuenca de Joctopuquio



ESTACIÓN GEOMECÁNICA 2 (FKS-002)

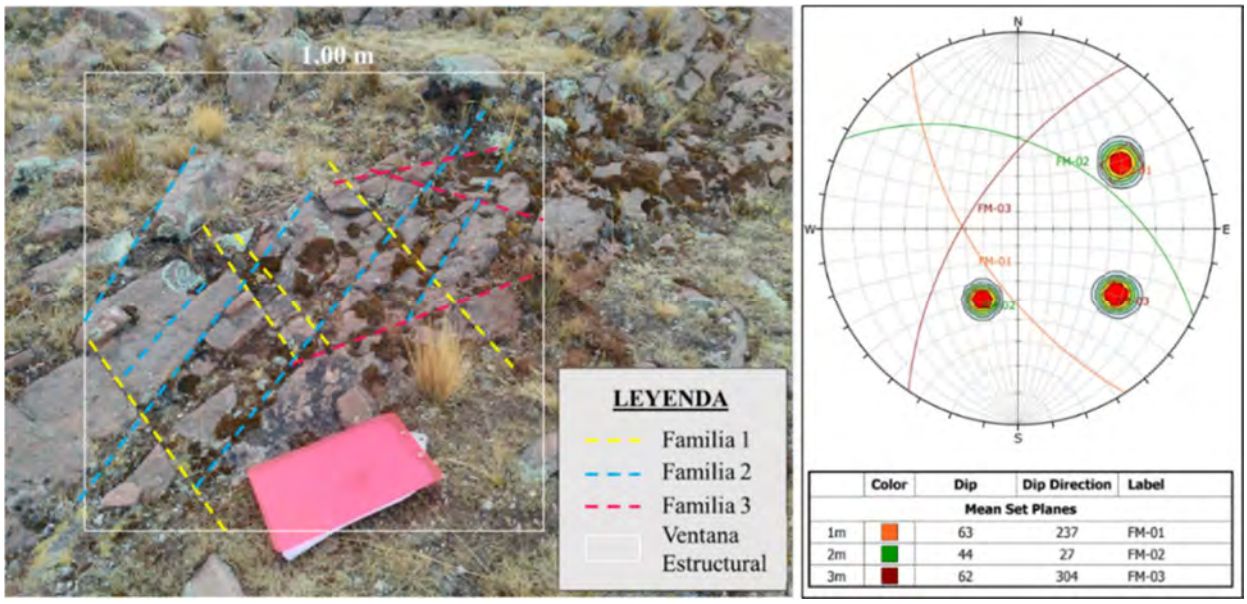
La estación geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8502980 y Este 191933, donde aflora una arenisca de grano medio a grueso, con presencia de material orgánico y limo arenoso en las discontinuidades. Las fracturas presentan una apertura comprendida entre 5 y 10 mm y el macizo rocoso se encuentra moderadamente alterado. En la ventana estructural se analizaron un total de 9 datos correspondientes a las discontinuidades, los cuales permitieron identificar tres familias principales de fracturas.

Para la familia 1 se registraron tres mediciones, obteniéndose valores promedio de Dip 69° Dip Direction 13°. Para la familia 2 se analizaron tres mediciones, con valores promedio de Dip 82° y Dip Direction 243°.

Finalmente, para la familia 3 se registraron tres mediciones, obteniéndose un promedio de Dip 62° y Dip Direction 37°.

Figura 42

Se muestra la ventana estructural FKS-002 en la microcuenca de Joctopuquio



ESTACIÓN GEOMECÁNICA 3 (FKS-003)

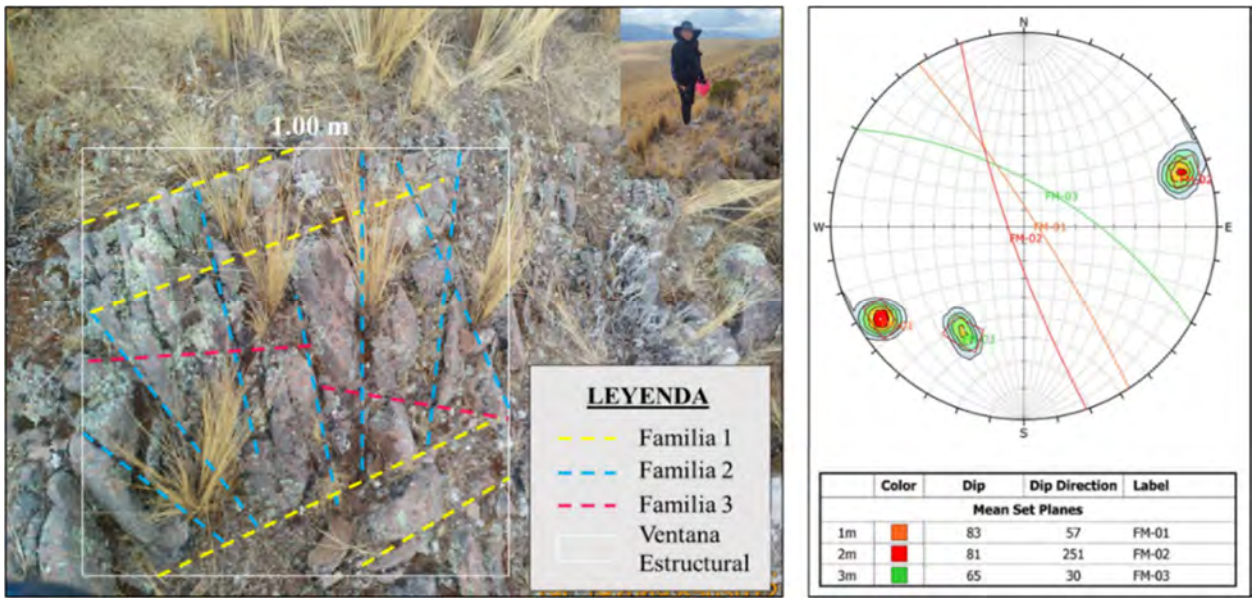
La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8502907 y Este 192365, donde aflora una arenisca de grano medio, moderadamente alterada. El macizo rocoso presenta discontinuidades con una abertura que varía entre 6 y 10 mm, observándose la presencia de material orgánico y limo arenoso como relleno en los planos de discontinuidad. Para la caracterización estructural del macizo rocoso se realizó el levantamiento de 9 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron tres familias principales de discontinuidades.

Para la familia 1, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 83° y Dip Direction de 57°. Para la familia 2, se registraron 3 datos, con un promedio de Dip de 81° y Dip

Direction de 251°. Finalmente, para la familia 3, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 65° y Dip Direction de 35°.

Figura 43

Se muestra la ventana estructural FKS-003 en la microcuenca de Joctopuquio



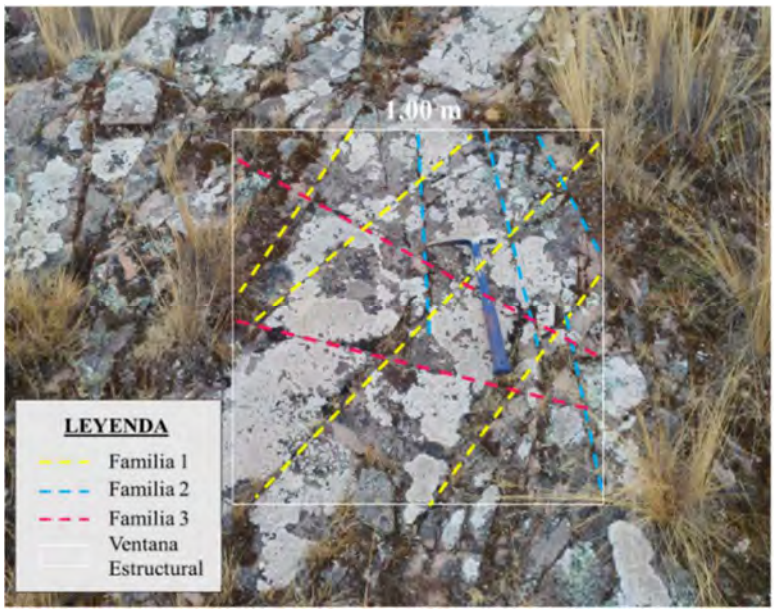
ESTACIÓN GEOMECÁNICA 4 (FKS-004)

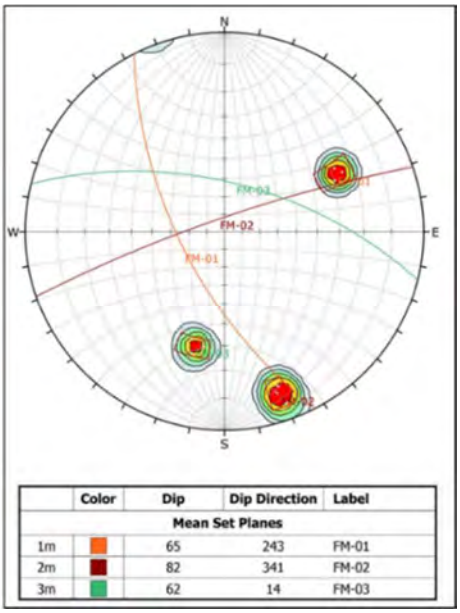
La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8502114 y Este 192732, donde aflora una arenisca de grano medio a grueso, que presenta relleno limo-arcilloso en las discontinuidades. La abertura de las fracturas varía entre 6 y 9 mm. Para la caracterización estructural del macizo rocoso se realizó el levantamiento de 9 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron tres familias principales de discontinuidades.

Para la familia 1, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 65° y Dip Direction de 243°. En la familia 2, se registraron 3 datos, con un promedio de Dip de 82° y Dip Direction de 341°. Finalmente, para la familia 3, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 62° y Dip Direction de 14°.

Figura 44

Se muestra la ventana estructural FKS-004 en la microcuenca de Joctopuquio





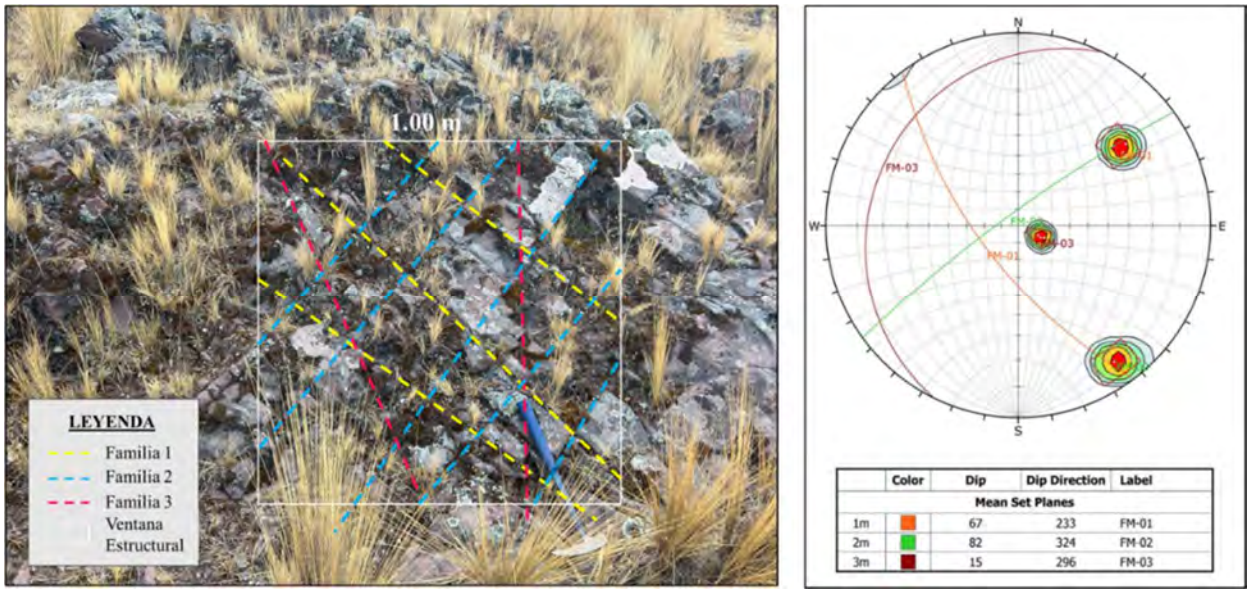
ESTACIÓN GEOMECÁNICA 5 (FKS-005)

La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8501858 y Este 192261, donde aflora una arenisca de grano grueso, con presencia de relleno limo-arenoso y material orgánico en las discontinuidades. La abertura de las fracturas varía entre 6 y 14 mm. Para la caracterización estructural del macizo rocoso se realizó el levantamiento de 9 datos en la ventana estructural, mediante los cuales se identificaron tres familias principales de discontinuidades.

Para la familia 1, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 67° y Dip Direction de 233°. Para la familia 2, se registraron 3 datos, con un promedio de Dip de 82° y Dip Direction de 324°. Finalmente, para la familia 3, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 15° y Dip Direction de 296°.

Figura 45

Se muestra la ventana estructural FKS-005 en la microcuenca de Joctopuquio



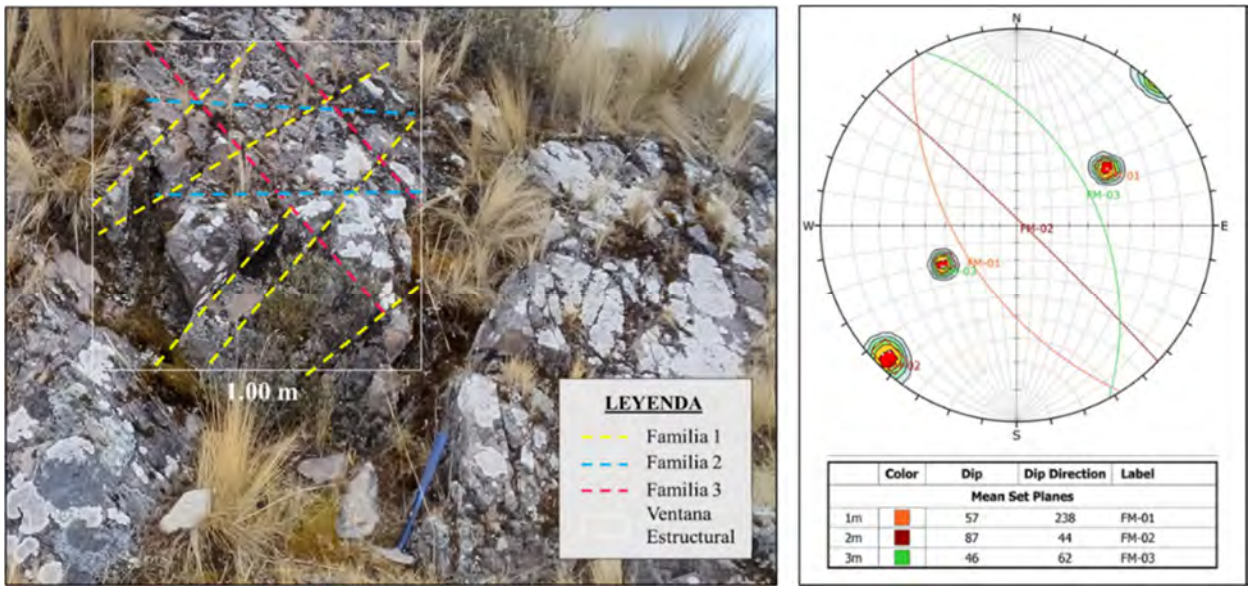
ESTACIÓN GEOMECÁNICA 6 (FKM-001)

La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8501631 y Este 192029, donde aflora una arenisca de grano medio. Las discontinuidades presentan una abertura que varía entre 6 y 14 mm. Para la caracterización estructural del macizo rocoso se realizó el levantamiento de 9 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron tres familias principales de discontinuidades.

Para la familia 1, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 57° y Dip Direction de 238°. Para la familia 2, se registraron 3 datos, con un promedio de Dip de 87° y Dip Direction de 44°. Finalmente, para la familia 3, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 46° y Dip Direction de 62°.

Figura 46

Se muestra la ventana estructural FKM-001 en la microcuenca de Joctopuquio



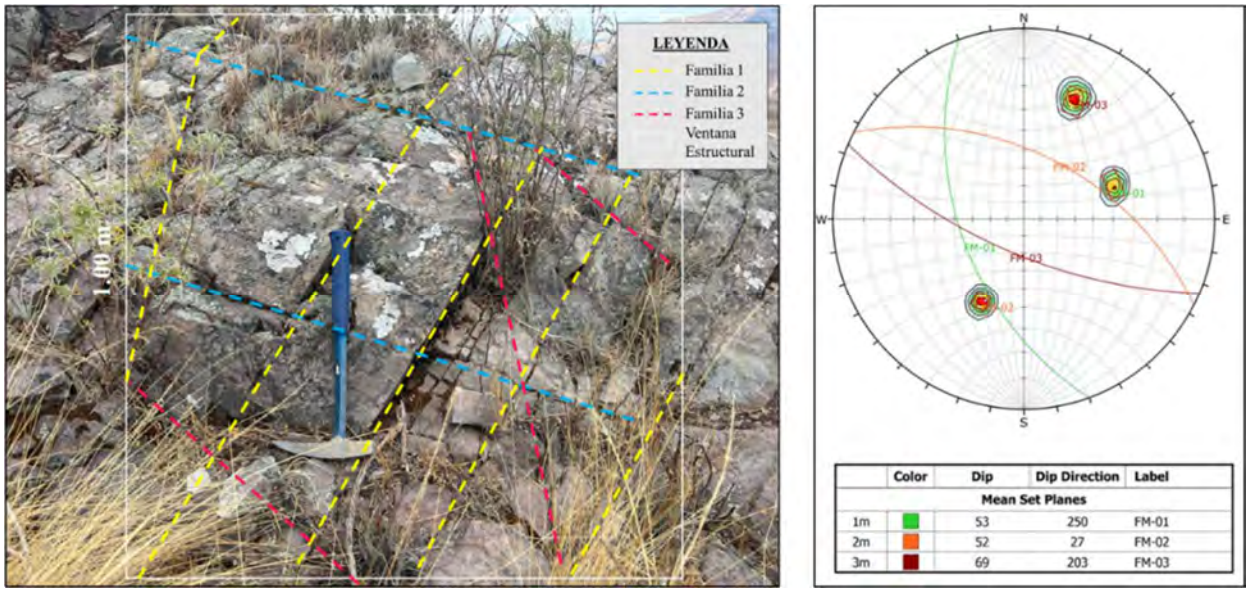
ESTACIÓN GEOMECÁNICA 7 (FKM-002)

La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8501520 y Este 191981, donde aflora una arenisca de grano medio. En las discontinuidades se observa la presencia de calcita como material de relleno o mineralización, mientras que la abertura de las fracturas varía entre 6 y 12 mm. Para la caracterización estructural del macizo rocoso se analizaron 9 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron tres familias principales de discontinuidades.

Para la familia 1, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 53° y Dip Direction de 250°. Para la familia 2, se registraron 3 datos, con un promedio de Dip de 52° y Dip Direction de 27°. Finalmente, para la familia 3, se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip de 69° y Dip Direction de 203°.

Figura 47

Se muestra la ventana estructural FKM-002 en la microcuenca de Joctopuquio



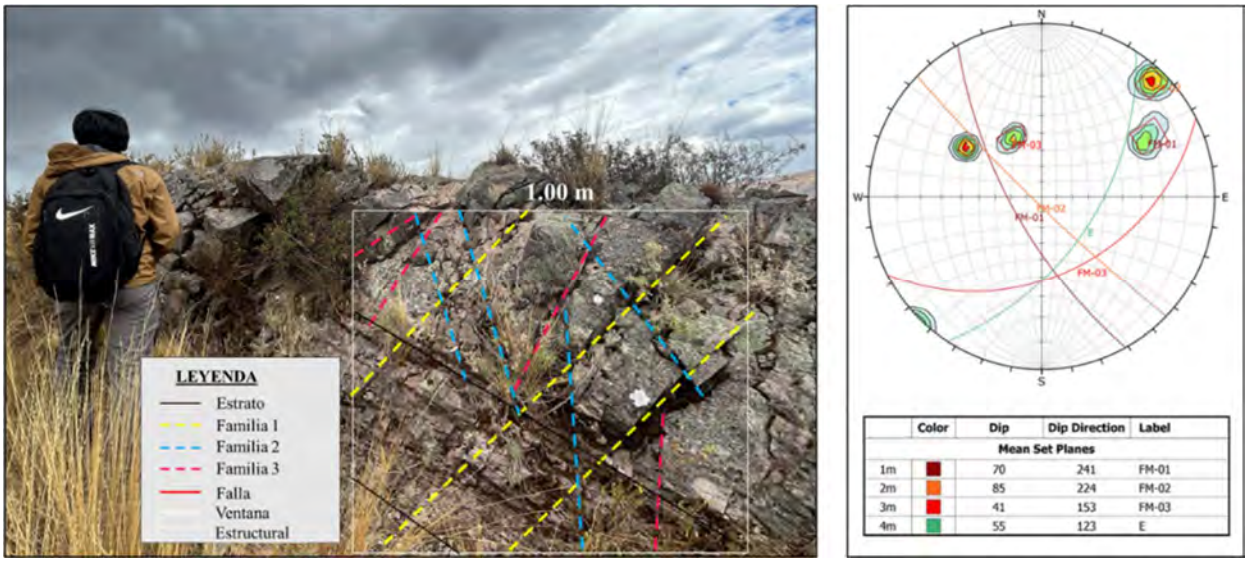
ESTACIÓN GEOMECÁNICA 8 (FKB-001)

La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8501458 y Este 190839, donde aflora una arenisca de grano medio con intercalaciones de lutitas. Dentro de las fracturas se observa la presencia de costras de calcita como producto de mineralización, mientras que la abertura de las fracturas varía entre 2 y 12 mm.

Para la caracterización estructural del macizo rocoso, se analizaron 12 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron los planos de estratificación y tres familias principales de discontinuidades. Los datos correspondientes a los planos de estratificación presentan un promedio de Dip 55° y Dip Direction 123°. La Familia 1 presenta un promedio de Dip 70° y Dip Direction 241°. Para la Familia 2 se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip 85° y Dip Direction 224°. Finalmente, la Familia 3 está representada por 3 datos, con un promedio de Dip 41° y Dip Direction 153°.

Figura 48

Se muestra la ventana estructural FKB-001 en la microcuenca de Joctopuquio



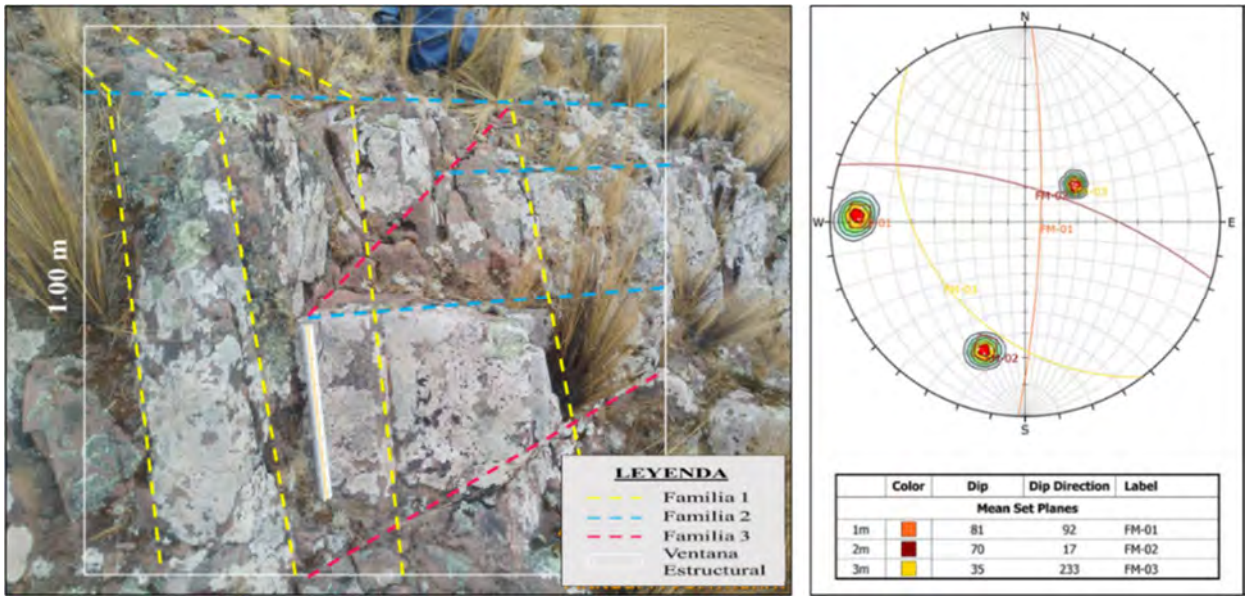
ESTACIÓN GEOMECÁNICA 9 (FKB-002)

La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8501665 y Este 191012, donde aflora una arenisca de grano medio, moderadamente alterada. Las discontinuidades presentan aberturas que varían entre 7 y 12 mm.

Para la caracterización estructural del macizo rocoso, se analizaron 9 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron tres familias principales de discontinuidades. La Familia 1 presenta un promedio de Dip 81° y Dip Direction 92°. Para la Familia 2 se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip 70° y Dip Direction 17°. Finalmente, la Familia 3 está representada por 3 datos, con un promedio de Dip 35° y Dip Direction 233°.

Figura 49

Se muestra la ventana estructural FKB-002 en la microcuenca de Joctopuquio



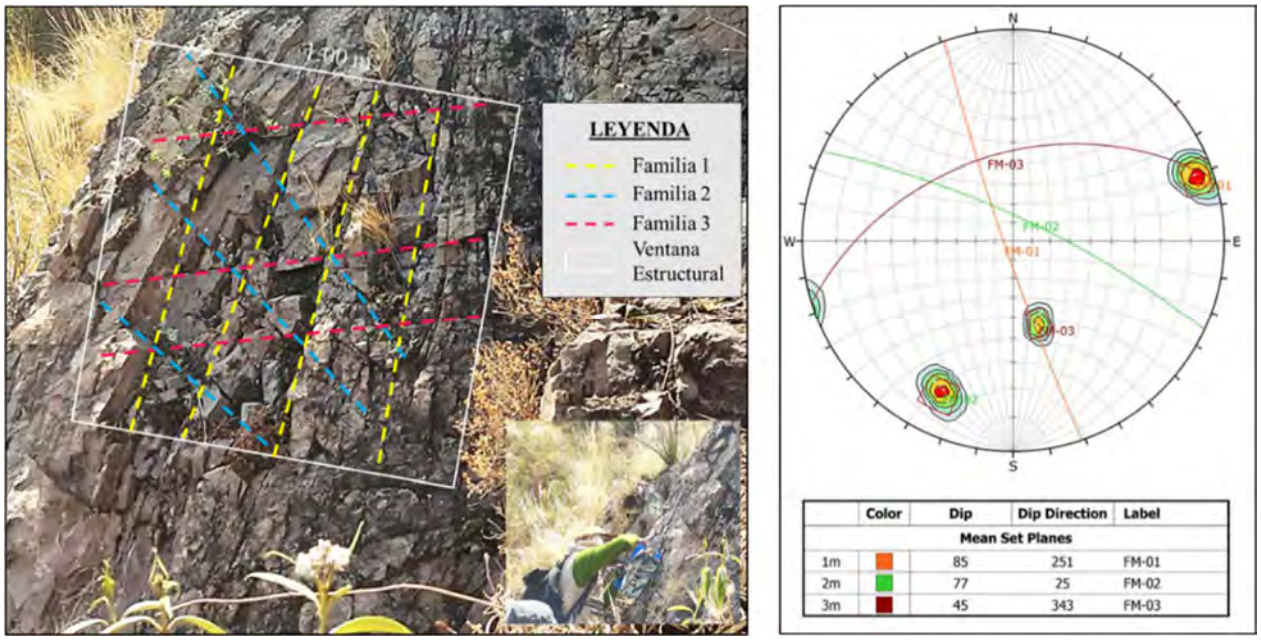
ESTACIÓN GEOMECÁNICA 10 (FKB-003)

La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8501371 y Este 191191, donde aflora una arenisca de grano medio con relleno limo-arenoso y presencia de costras de calcita en las discontinuidades. Las aberturas de las fracturas varían entre 7 y 10 mm.

Para la caracterización estructural del macizo rocoso, se analizaron 9 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron tres familias principales de discontinuidades. La Familia 1 presenta un promedio de Dip 85° y Dip Direction 251°. Para la Familia 2 se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip 77° y Dip Direction 25°. Finalmente, la Familia 3 está representada por 3 datos, con un promedio de Dip 45° y Dip Direction 343°.

Figura 50

Se muestra la ventana estructural FKB-003 en la microcuenca de Joctopuquio



ESTACIONES GEOMECÁNICAS FORMACIÓN SONCCO

ESTACIÓN GEOMECÁNICA 11 (FSC-001)

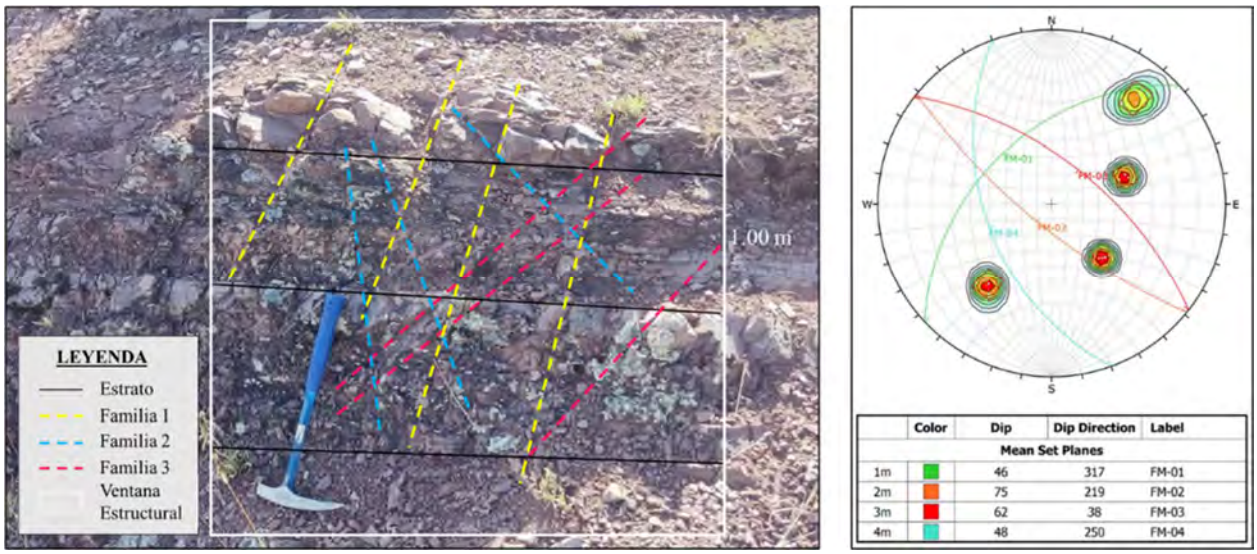
La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8501458 y Este 190839, donde aflora una arenisca de grano medio con intercalaciones de lutitas. Las discontinuidades presentan relleno de limo y aberturas que varían entre 2 y 4 mm. Asimismo, se observa la presencia de venilleo de calcita en el macizo rocoso.

Para la caracterización estructural del macizo rocoso, se analizaron 12 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron los planos de estratificación y tres familias principales de discontinuidades. Los datos correspondientes a los planos de estratificación presentan un promedio de Dip 46° y Dip Direction 317°. La Familia 1 presenta un promedio de Dip 75° y Dip Direction 219°. Para la Familia 2 se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio

de Dip 62° y Dip Direction 38°. Finalmente, la Familia 3 está representada por 3 datos, con un promedio de Dip 48° y Dip Direction 250°.

Figura 51

Se muestra la ventana estructural FSC-001 en la microcuenca de Joctopuquio



	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		46	317	FM-01
2m		75	219	FM-02
3m		62	38	FM-03
4m		48	250	FM-04

ESTACIÓN GEOMECÁNICA 12 (FSC-002)

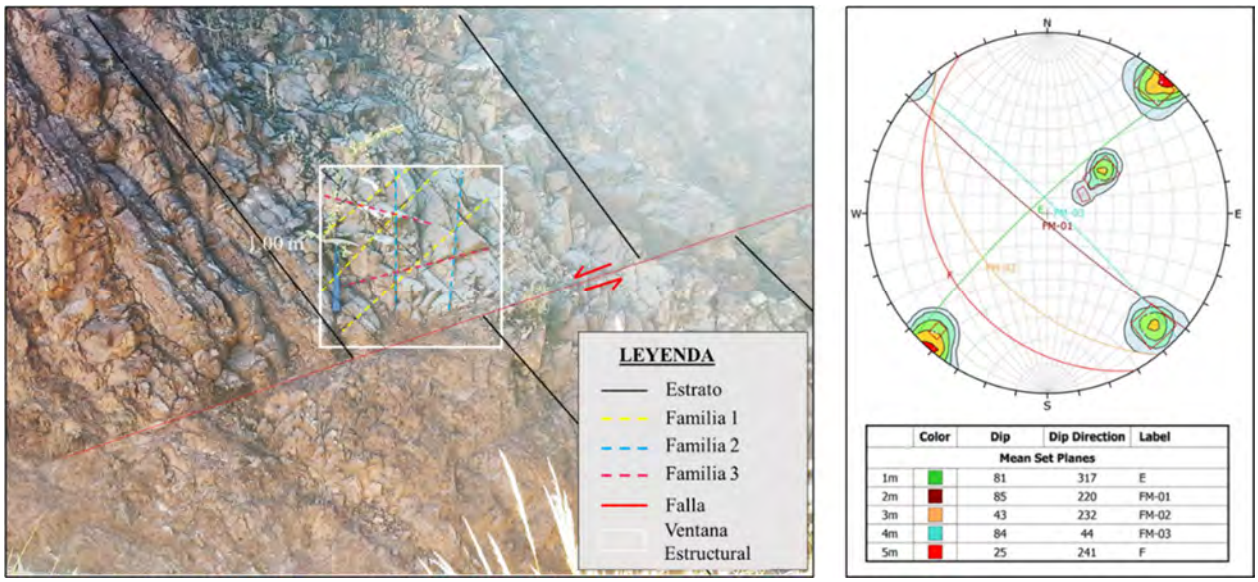
La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8501256 y Este 191121, donde aflora una arenisca de grano medio con intercalaciones de lutitas. Las discontinuidades presentan aberturas que varían entre 2 y 4 mm.

Para la caracterización estructural del macizo rocoso, se analizaron 12 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron los planos de estratificación y tres familias principales de discontinuidades. Los datos correspondientes a los planos de estratificación presentan un promedio de Dip 81° y Dip Direction 317°. La Familia 1 presenta un promedio de Dip 85° y Dip Direction 220°. Para la Familia 2 se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip 43° y Dip Direction 232°. Finalmente, la Familia 3 está representada por 3 datos, con un

promedio de Dip 84° y Dip Direction 44°. Asimismo, se identificó la presencia de una falla con una orientación de Dip 25° y Dip Direction 241°, la cual constituye una discontinuidad estructural adicional dentro del macizo rocoso.

Figura 52

Se muestra la ventana estructural FSC-002 en la microcuenca de Joctopuquio



ESTACIÓN GEOMECÁNICA 13 (FSC-003)

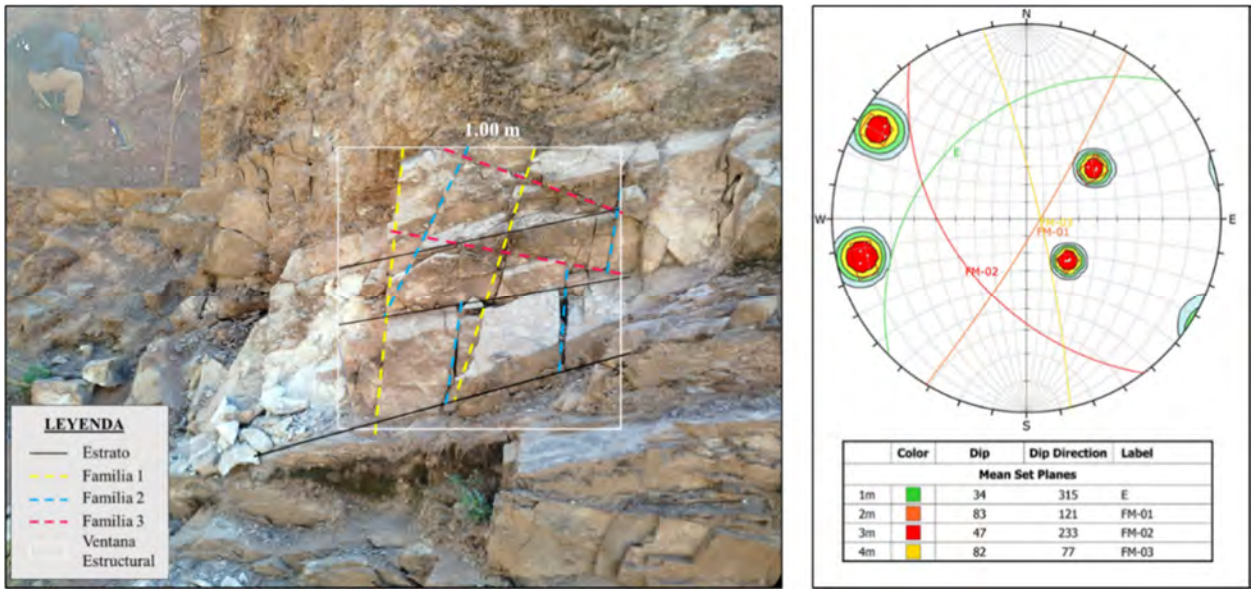
La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8501130 y Este 190926, donde aflora una arenisca de grano fino con intercalaciones de lutitas. Dentro de las fracturas se observa la presencia de costras y venilleo de calcita, mientras que las aberturas de las discontinuidades varían entre 2 y 4 mm.

Para la caracterización estructural del macizo rocoso, se analizaron 12 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron los planos de estratificación y tres familias principales de discontinuidades. Los datos correspondientes a los planos de estratificación presentan un promedio de Dip 34° y Dip Direction 315°. La Familia 1 presenta un promedio de

Dip 83° y Dip Direction 121°. Para la Familia 2 se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio de Dip 47° y Dip Direction 233°. Finalmente, la Familia 3 está representada por 3 datos, con un promedio de Dip 82° y Dip Direction 77°.

Figura 53

Se muestra la ventana estructural FSC-003 en la microcuenca de Joctopuquio



ESTACIÓN GEOMECÁNICA 14 (FSC-004)

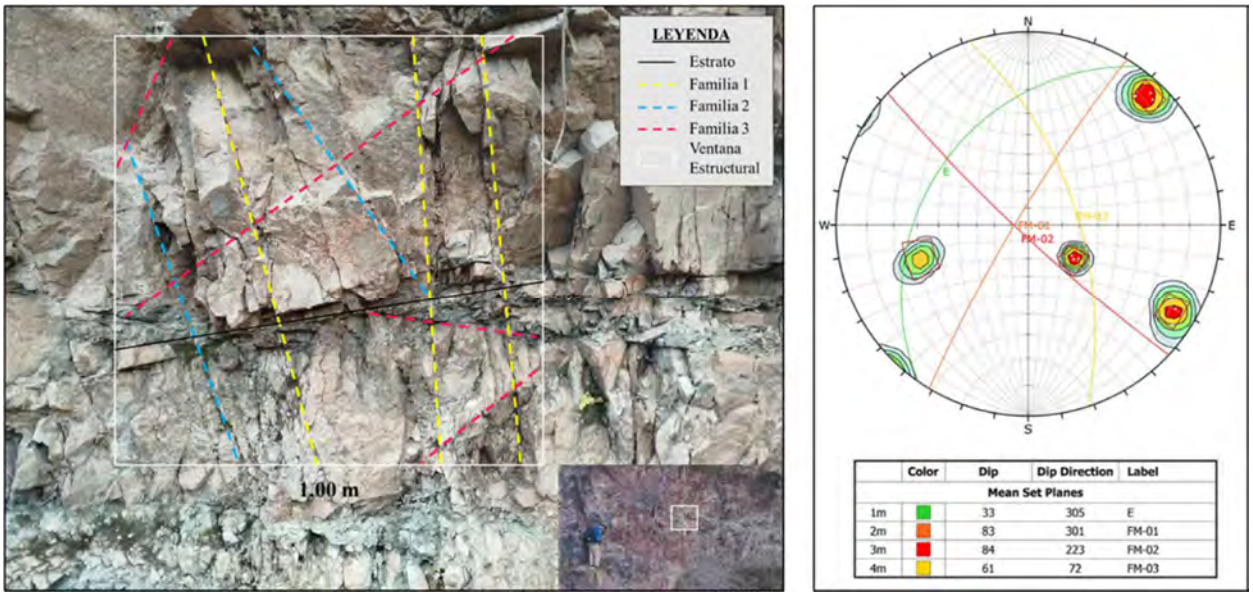
La Estación Geomecánica se encuentra ubicada en las coordenadas Norte 8500758 y Este 190823, donde aflora una arenisca con intercalaciones de lutitas. Las discontinuidades presentan aberturas que varían entre 2 y 4 mm.

Para la caracterización estructural del macizo rocoso, se analizaron 12 datos en la ventana estructural, a partir de los cuales se identificaron los planos de estratificación y tres familias principales de discontinuidades. Los datos correspondientes a los planos de estratificación presentan un promedio de Dip 33° y Dip Direction 305°. La Familia 1 presenta un promedio de Dip 83° y Dip Direction 301°. Para la Familia 2 se registraron 3 datos, obteniéndose un promedio

de Dip 84° y Dip Direction 223°. Finalmente, la Familia 3 está representada por 3 datos, con un promedio de Dip 61° y Dip Direction 72°.

Figura 54

Se muestra la ventana estructural FSC-004 en la microcuenca de Joctopuquio

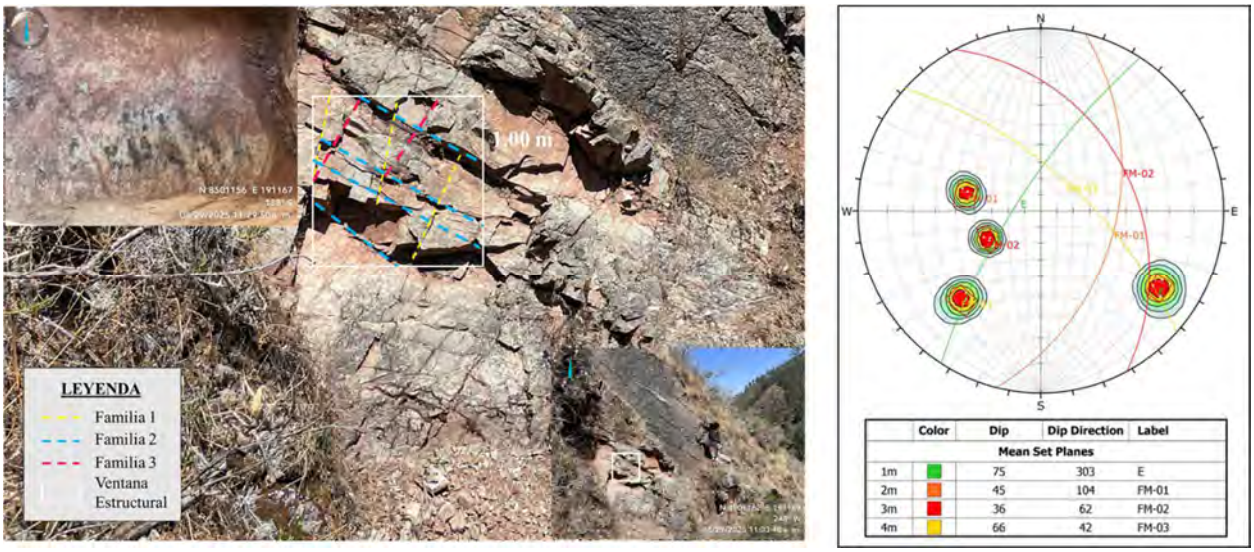


ESTACIÓN GEOMECÁNICA 15 (FSC-005)

La Estación Geomecánica está ubicada en las coordenadas Norte 8501151y Este 191160, donde aflora arenisca de grano fino con intercalación de lutitas con aberturas que varían de 2 a 3 mm, se realizaron 12 datos en la ventana estructural, para los datos planares de estratificación con un promedio de Dip 75 y Dip Direction de 303 , la familia 1 se tomaron datos con un promedio de Dip 45 y Dip Direction de 104, la familia 2 se tomaron 3 datos con un promedio de Dip 45 y Dip Direction de 104 y la familia 3 se tomaron 3 datos con un promedio de Dip 66 y Dip Direction de 42, también se encontraron estría de falla con un Dip 20 y Dip Direction 260.

Figura 55

Se muestra la ventana estructural FSC-005 en la microcuenca de Joctopuquio



En la Formación Kayra se analizaron 90 datos estructurales, correspondientes a 10 estaciones geomecánicas. Mediante el procesamiento en Stereonet Plot se identificaron cuatro familias principales de discontinuidades. La familia 1 presenta un Dip de 52° y un Dip Direction de 123°, indicando un buzamiento moderado hacia el sureste y corresponde a la orientación predominante de la estratificación. La familia 2 presenta un Dip de 75° y un Dip Direction de 204°, caracterizándose por un buzamiento alto hacia el suroeste. La familia 3 presenta un Dip de 63° y un Dip Direction de 23°, correspondiente a un buzamiento moderado a alto hacia el noreste. Finalmente, la familia 4 presenta un Dip de 82° y un Dip Direction de 332°, indicando un buzamiento muy alto, prácticamente subvertical, hacia el noroeste.

La distribución de estas familias evidencia un sistema de discontinuidades con diferentes ángulos y direcciones de buzamiento, lo que genera una configuración estructural multidireccional. La familia 1, al presentar una orientación concordante con la estratificación, puede constituir una

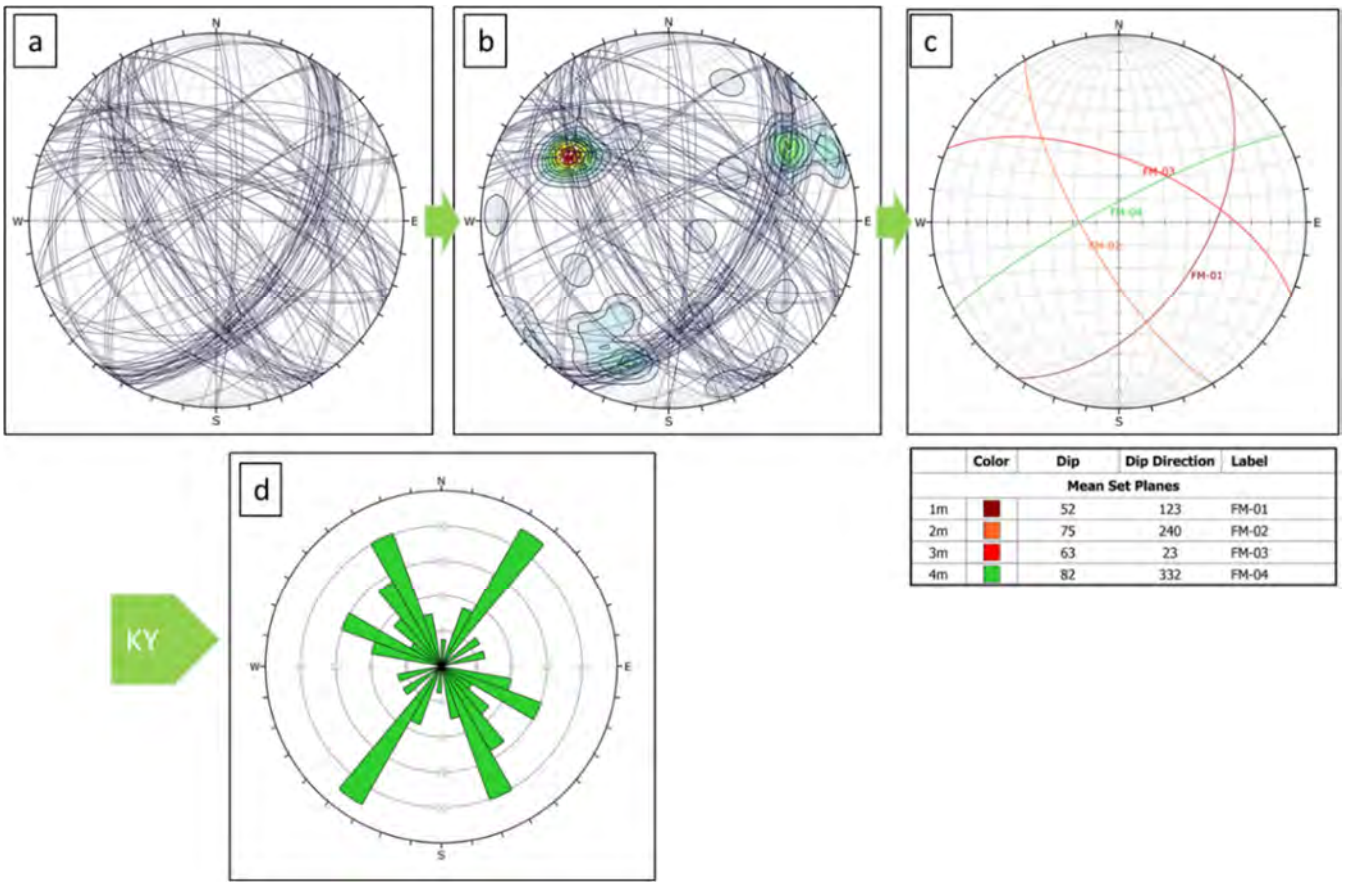
vía de circulación del agua subterránea a través de los planos de las capas, principalmente cuando estos presentan continuidad, apertura y condiciones favorables para el flujo.

Por otro lado, las familias 2, 3 y 4 presentan direcciones de buzamiento diferentes a la familia 1, por lo que pueden interceptar los planos de estratificación y generar conexiones entre las diferentes discontinuidades. Estas intersecciones pueden ser importantes desde el punto de vista hidrogeológico, debido a que favorecen la infiltración y el desplazamiento del agua desde niveles superficiales hacia sectores más profundos del macizo rocoso.

En conjunto, la interacción entre la estratificación y las cuatro familias de discontinuidades, con sus diferentes valores de Dip y Dip Direction, puede generar una red de circulación preferencial del agua subterránea. Esta configuración estructural puede contribuir al desarrollo de la permeabilidad secundaria de la Formación Kayra, controlando parcialmente las zonas de infiltración y las posibles trayectorias del flujo subterráneo.

Figura 56

Diagrama de interpretación de la estratificación en la Formación Kayra en la microcuenca de Joctopuquio



En la Formación Soncco se analizaron 45 datos estructurales correspondientes a 5 estaciones geomecánicas. El procesamiento mediante Stereonet Plot permitió identificar seis familias principales de discontinuidades, definidas a partir de sus valores promedio de Dip y Dip Direction.

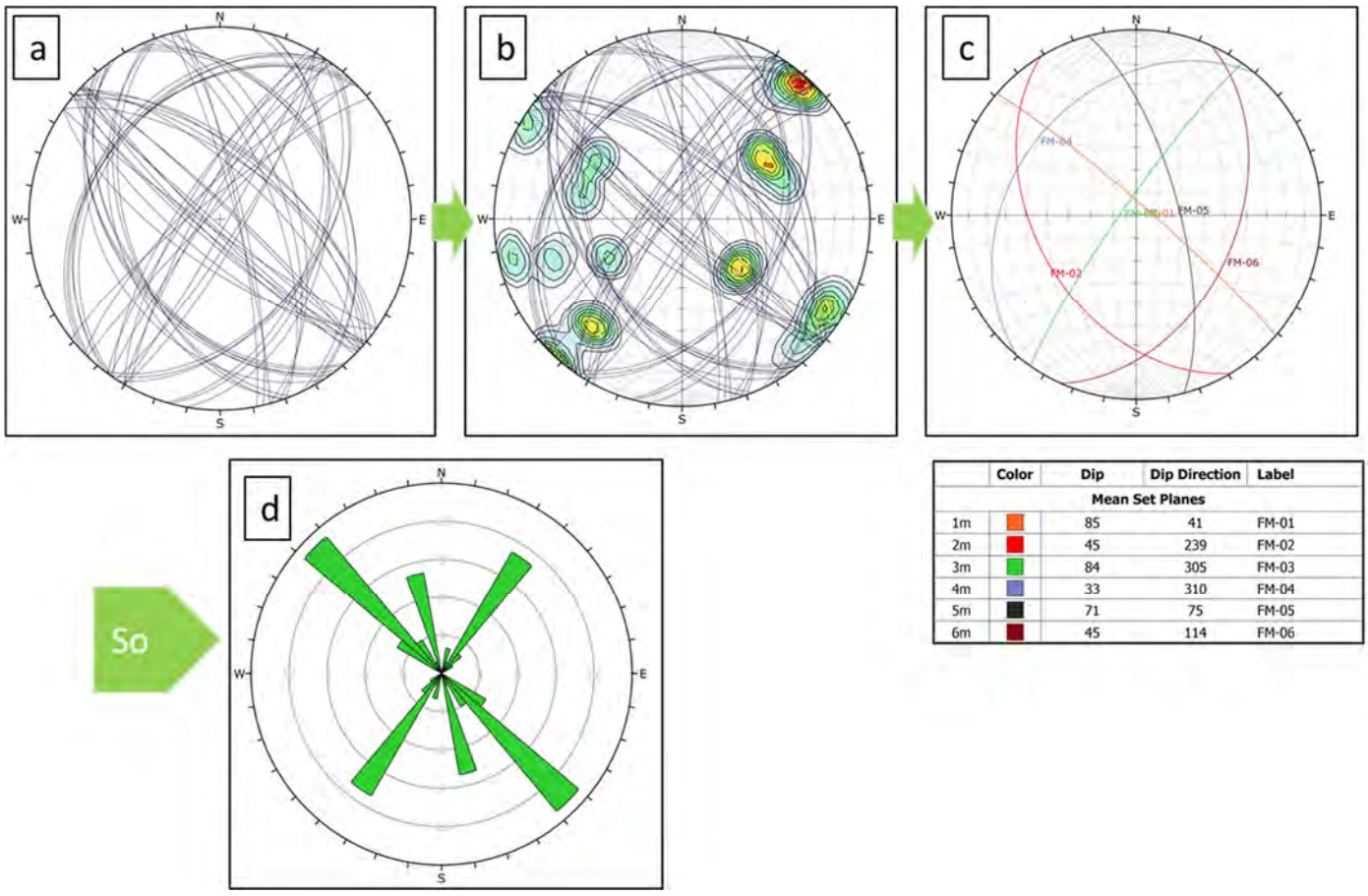
La familia 1 presenta un Dip de 85° y un Dip Direction de 41°, correspondiendo a una discontinuidad de buzamiento muy alto, con dirección hacia el noreste. La familia 2 presenta un Dip de 45° y un Dip Direction de 239°, con buzamiento moderado y dirección hacia el suroeste. La familia 3 presenta un Dip de 84° y un Dip Direction de 305°, esta familia corresponde a la

orientación concordante con la estratificación caracterizándose por un buzamiento muy alto y dirección hacia el noroeste. La familia 4 presenta un Dip de 33° y un Dip Direction de 310°, siendo la familia de menor buzamiento y presentando una dirección hacia el noroeste. Esta familia corresponde a la orientación concordante con la estratificación, por lo que puede favorecer la circulación del agua subterránea a través de los planos de estratificación. La familia 5 presenta un Dip de 71° y un Dip Direction de 75°, correspondiente a una discontinuidad de buzamiento alto y dirección hacia el noreste. Finalmente, la familia 6 presenta un Dip de 45° y un Dip Direction de 114°, con buzamiento moderado y dirección hacia el sureste.

En conjunto, los valores de Dip, comprendidos entre 33° y 85°, y las diferentes direcciones de buzamiento evidencian un sistema de discontinuidades con orientación multidireccional. Desde el punto de vista hidrogeológico, esta configuración puede favorecer la interconexión entre los planos de estratificación y las fracturas, generando vías preferenciales para la infiltración y circulación del agua subterránea. Las familias con mayor buzamiento, principalmente las familias 1 y 3, pueden favorecer la conexión entre diferentes niveles del macizo, mientras que la familia 4, al ser concordante con la estratificación, puede facilitar la circulación del agua a lo largo de estos planos.

Figura 57

Diagrama de interpretación de la estratificación en la Formación Soncco en la microcuenca de Joctopuquio



	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		85	41	FM-01
2m		45	239	FM-02
3m		84	305	FM-03
4m		33	310	FM-04
5m		71	75	FM-05
6m		45	114	FM-06

Se muestra el cuadro resumen de las ventanas estructurales que se tomaron en zonas con buenas condiciones estructurales, encontradas en la Formación Kayra y Formación Soncco.

Tabla 25

Resumen de ventanas estructurales en la microcuenca de Joctopuquio

FORMACIÓN	N°	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	NORTE	ESTE	RELLENO	ABERTURA (mm)	RQD (%)	CALIDAD	RMR	DESCRIPCIÓN
FORMACIÓN KAYRA	1	FKS-001	8502483	191770	Mo/limoarenoso	6-10	50-75	Regular	50	III Regular
	2	FKS-002	8502980	191933	Mo/limoarenoso	5-10	50-75	Regular	52	III Regular
	3	FKS-003	8502907	192365	Mo/limoarenoso	6-10	25-50	Mala	40	IV Mala
	4	FKS-004	8502114	192732	Mo/limoarcilloso	6-9	50-75	Regular	50	III Regular
	5	FKS-005	8501858	192261	Mo/limoarenoso	8-14	25-50	Mala	45	III Regular
	6	FKM-001	8501631	192029	Mo/limoarenoso	6-14	50-75	Regular	45	III Regular
	7	FKM-002	8501520	191981	Mo/limoarenoso	6-12	50-75	Regular	50	III Regular
	8	FKB-001	8501402	191779	Mo/arcilla	2-12	25-50	Mala	50	III Regular
	9	FKB-002	8501665	191012	Mo/limo	7-12	50-75	Regular	52	III Regular
	10	FKB-003	8501151	191160	limoarenoso	7-10	25-50	Mala	46	III Regular
FORMACIÓN SONCCO	11	FSC-001	8501458	190839	limoarenoso	2-4	0-25	Muy mala	48	III Regular
	12	FSC-002	8501256	191121	limolita/arcilla	2-4	25-50	Mala	51	III Regular
	13	FSC-003	8501130	190926	limolita/calcita	2-4	50-75	Regular	51	III Regular
	14	FSC-004	8500758	190823	limolita/calcita	2-4	50-75	Regular	49	III Regular
	15	FSC-005	8501151	191160	limoarenoso	2-3	50-75	Regular	56	III Regular

B.2 FALLAS

En nuestra zona de estudio se logró identificar 3 fallas regionales de las cuales una de ellas es la falla Tambomachay con una dirección NW-SE esta no se pudo identificar en nuestra zona de estudio debido a la presencia de depósitos cuaternarios.

Según la Figura 58, se identificaron diferentes evidencias de estructuras de falla en las formaciones geológicas de la zona de estudio. En la Figura 58a se observa una falla regional de tipo normal, así como fallas inferidas, cuya interpretación se realizó a partir del desplazamiento y cambio de posición de los estratos de la Formación Kayra. En la Figura 58b se identifica una falla inferida en la Formación Soncco, interpretada principalmente por el cambio en la orientación y el buzamiento de los estratos. En la Figura 58c se presenta una falla inferida ubicada en la cabecera de la cuenca, dentro de la Formación Kayra. En la Figura 58d se observa otra falla inferida,

interpretada a partir del desplazamiento de los estratos de la Formación Kayra. Finalmente, en la Figura 58f se muestra la expresión de una falla regional de tipo normal que afecta a la Formación Kayra. Estas estructuras evidencian el control tectónico sobre la disposición y deformación de las unidades geológicas presentes en la zona de estudio.

En la Figura 59a se presenta un perfil geológico atravesado por tres estructuras de falla. La primera presenta un Dip Direction de 35° y un Dip de 70°; la segunda, un Dip Direction de 255° y un Dip de 55°; y la tercera, un Dip Direction de 230° y un Dip de 68°.

Por otro lado, en la Figura 59b se presenta un segundo perfil geológico en el que se identifican tres estructuras de falla. La primera presenta un Dip Direction de 125° y un Dip de 88°; la segunda, un Dip Direction de 70° y un Dip de 75°; y la tercera, un Dip Direction de 150° y un Dip de 65°.

Los perfiles evidencian que las fallas presentan diferentes orientaciones y ángulos de buzamiento, lo que indica una configuración estructural compleja en la zona de estudio. Estas estructuras, al atravesar las diferentes unidades geológicas, pueden generar zonas con distintos grados de fracturamiento y permeabilidad secundaria. Desde el punto de vista hidrogeológico, esta variabilidad estructural puede influir en la infiltración, almacenamiento y circulación del agua

En la Figura 60 se presentan algunas de las principales estructuras de falla identificadas en la zona de estudio. En la Figura 60a se observa una falla normal con un Dip Direction de 241° y un Dip de 25°. En la Figura 60b se identifica una estructura con un Dip Direction de 241° y un Dip de 25°, mientras que en la Figura 60c se presenta una falla con un Dip Direction de 230° y un Dip de 42°.

Estas estructuras presentan diferentes orientaciones y ángulos de buzamiento, por lo que su influencia sobre el flujo subterráneo puede variar espacialmente. Las fallas con mayor grado de

fracturamiento y apertura pueden incrementar la porosidad secundaria del macizo rocoso y facilitar la infiltración y circulación del agua. En contraste, cuando los planos de falla se encuentran rellenos por materiales arcillosos producto de la alteración, su comportamiento puede ser menos permeable y generar una disminución de la circulación del agua.

Figura 58

Fallas encontrados en la microcuenca de Joctopuquio.

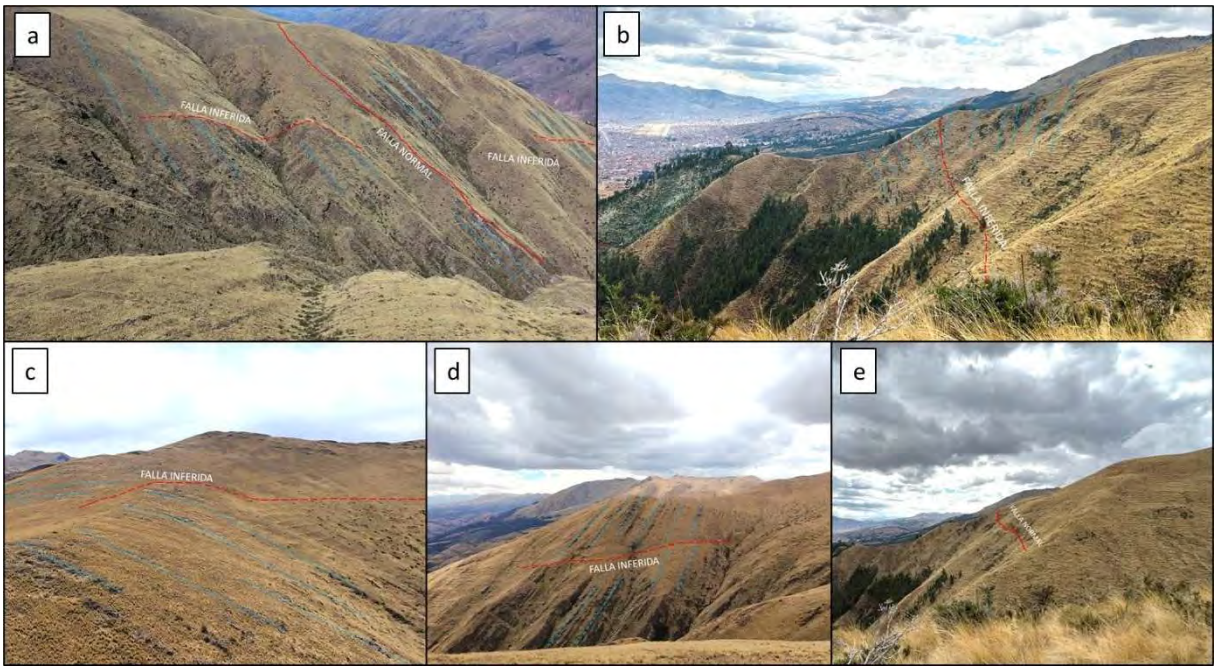


Figura 59

Sección de fallas encontradas en la microcuenca de Joctopuquio.

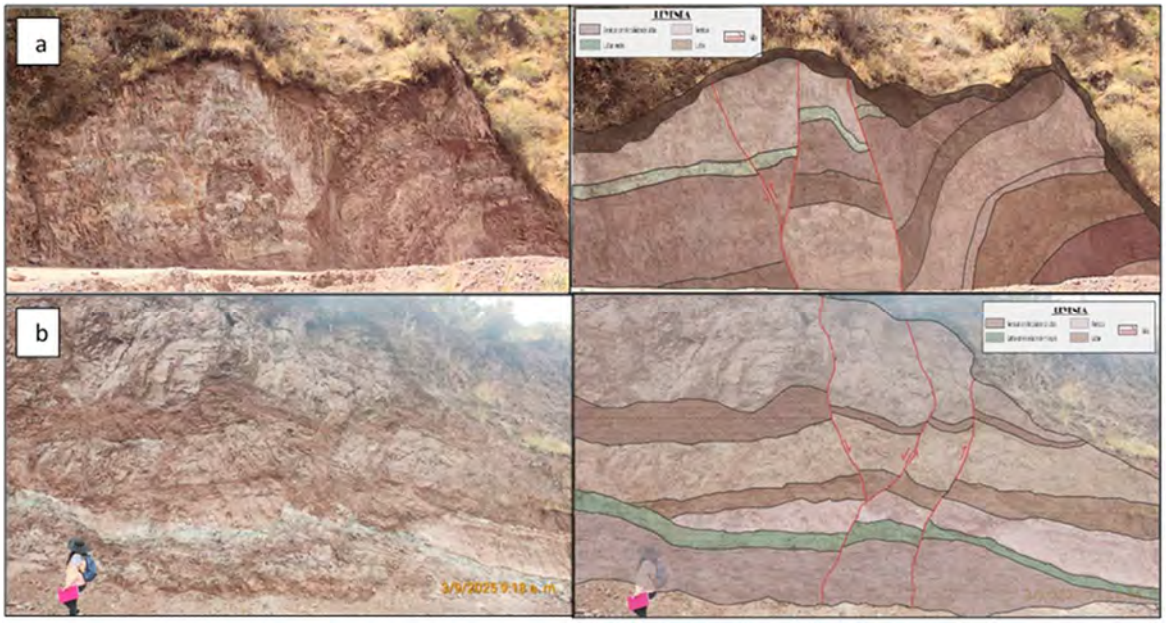
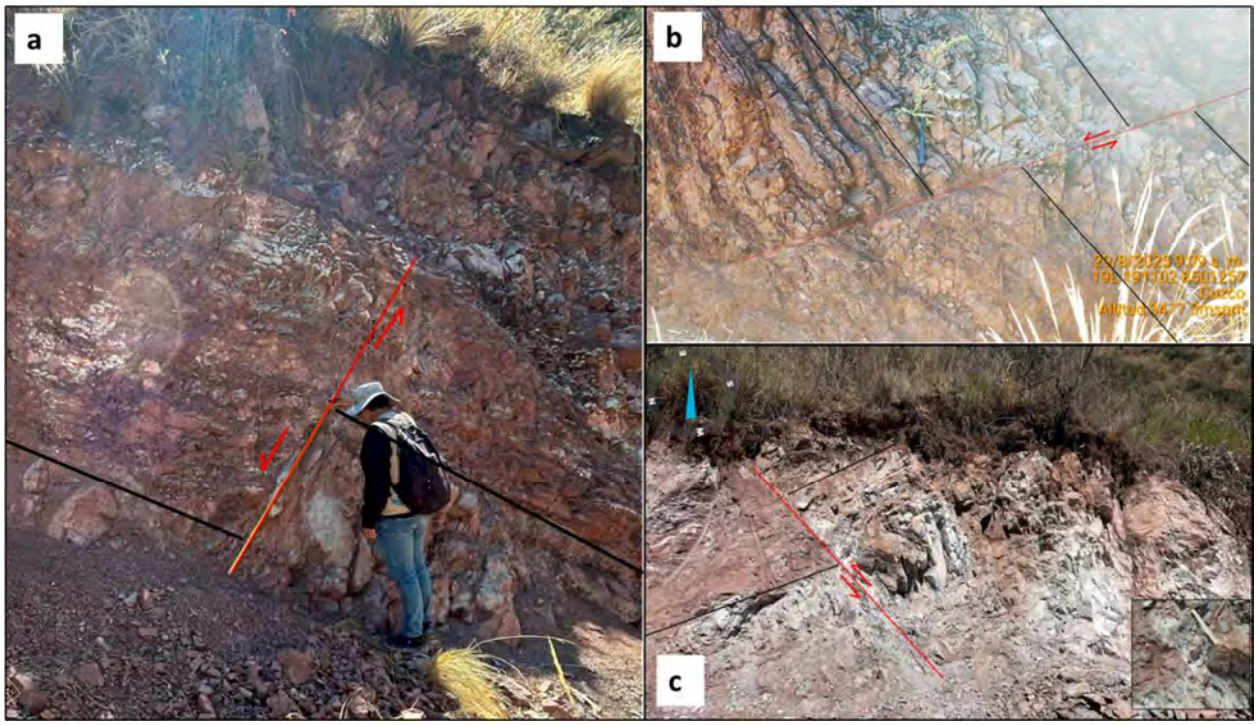


Figura 60

Fallas encontradas en la microcuenca de Joctopuquio.



CAPITULO III: HIDROLOGIA

3.1 UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

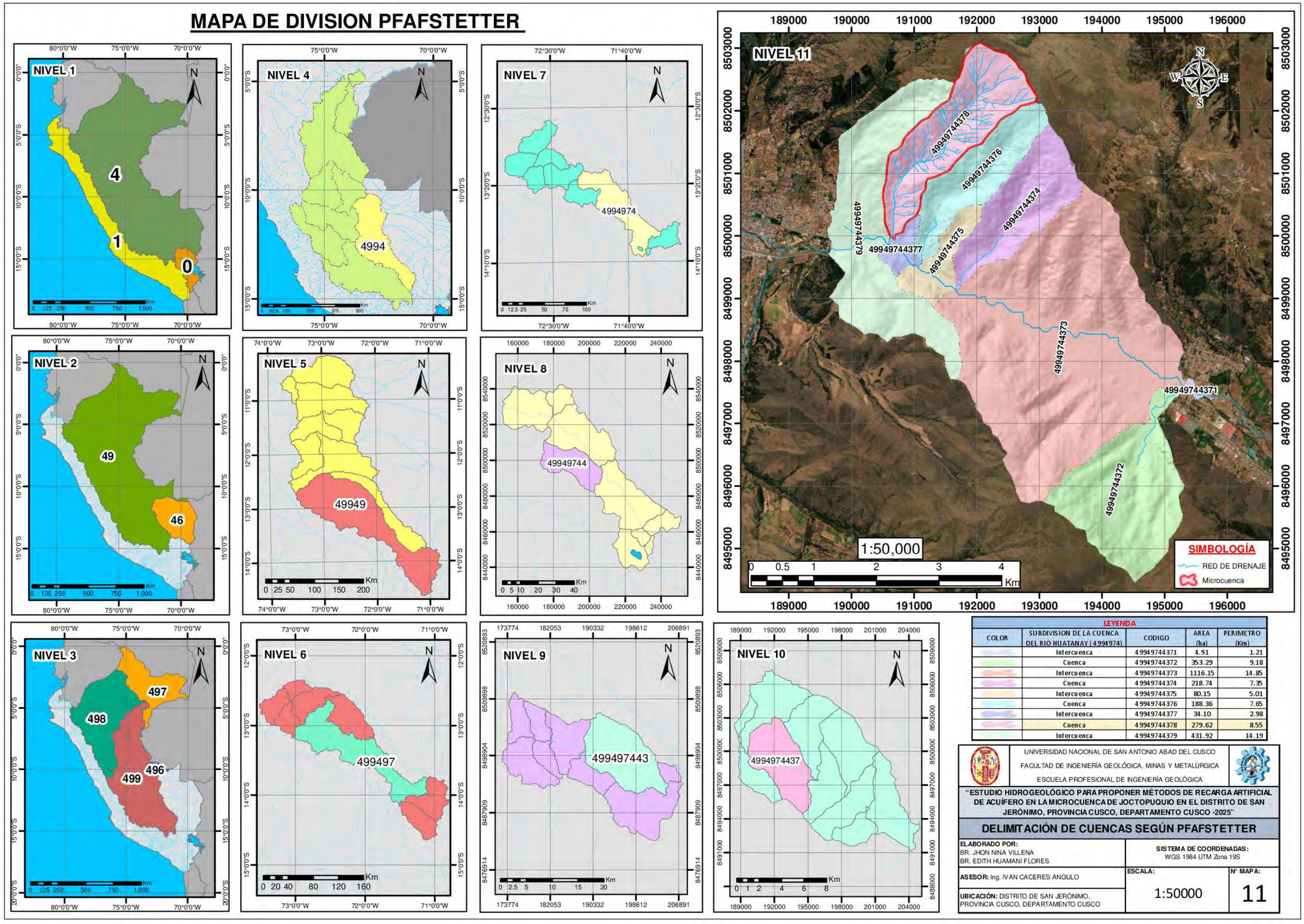
Para la delimitación hidrográfica de la microcuenca de estudio, se aplicó el Sistema de Codificación Pfafstetter para la identificación de cuencas hidrográficas, para lo cual en nuestra zona de estudio se tiene una codificación de 49949744378, donde se clasifico con una unidad hidrográfica de nivel 11.

Tabla 26

Clasificación Otto Pfafstetter en la microcuenca de Joctopuquio.

NIVEL	*CLASIFICACIÓN OTTO PFAFSTETTER*	*CÓDIGO*
1	Cuenca Hidrográfica Del Rio Amazonas	4
2	Cuenca Cabecera Del Rio Amazonas	49
3	Cuenca del río Ucayali	499
4	Cuenca del río Urubamba	4994
5	Cuenca cabecera del río Urubamba	49949
6	Cuenca del rio Vilcanota	499497
7	Unidad hidrográfica	4994977
8	Cuenca del rio Huatanay	49949774
9	Intercuenca del rio Huatanay	499497443
10	Unidad hidrográfica	4994974437
11	Microcuenca de Joctopuquio	49949744378

Figura 61 *Mapa de Ubicación hidrográfica de la microcuenca de Joctopuquio.*



Nota: Adaptado del HydroBASINS (Lehner & Grill, 2013)

3.2 MORFOMETRÍA DE MICROCUENCA

Los parámetros morfométricos de una microcuenca permiten describir las características que influyen en el comportamiento del agua, tales como el escurrimiento, el tiempo de concentración y la forma de distribución del flujo. A partir de estos parámetros es posible generar información relevante sobre zonas que carecen de registros hidrológicos suficientes, debido a diversas limitaciones, mediante el análisis y procesamiento de información geográfica obtenida a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) del área de estudio.

3.2.1 PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA

El estudio sistemático de los parámetros fisiográficos y geomorfológicos de una cuenca hidrográfica constituye una herramienta fundamental Hidrogeología. Dichos parámetros permiten establecer relaciones hidrológicas regionales y facilitan la transferencia de información entre cuencas hidrológicamente homogéneas, especialmente en regiones donde los registros hidrométricos son escasos, incompletos o inexistentes. Esta transferencia resulta válida siempre que las cuencas presenten condiciones climáticas, geomorfológicas y fisiográficas comparables.

Tabla 27

Parámetros físicos en la microcuenca de Joctopuquio

DATOS DE LA CUENCA				
PARAMETROS FISICOS DE LA CUENCA				
Geometría				
Parámetros de forma	**Símbolo**	**Unidad**	**Método**	**M.c. Joctopucquio**
Área	Ac	Km2		2.79
Perímetro	Pc	Km		8.55
Ancho Promedio	Ap	Km	$Ap = Ac/Lax$	0.82
Largo Axial	Lax	Km		3.4
Valores de cotas				
Cota máxima		msnm		4226
Cota mínima		msnm		3237
Coordenadas				
Centroide X		m		191667.5
Centroide Y		m		8501599.1
Centroide Z		msnm		3789.8
Altitudes de la cuenca				
Altitud media		msnm		3799.9
Altitud más frecuente		msnm		Polígono de frecuencia
Pendiente de la cuenca				
Pendiente de la cuenca		%		50.43
Hidrografía				
Longitud del cauce principal	Lc	Km		3.06
Orden de la red hídrica		Orden		4
Longitud de la red hídrica		Km		23.41
Pendiente promedio de la red hídrica		%		52.17

3.2.2 PARÁMETROS DE FORMA DE LA MICROCUENCA

Índice de compacidad o índice de Gravelius

Este parámetro adimensional cuantifica la relación entre el perímetro real de la cuenca hidrográfica y el perímetro de un círculo equivalente en área, constituyendo un indicador de la configuración geomorfológica de la cuenca. Su valor mantiene una relación directa con el tiempo de concentración del sistema hidrológico y, por tanto, con la respuesta hidrológica ante eventos de precipitación.

Según tabla 3 el índice de Gravelius de la microcuenca nos da un valor de 1.43 lo que nos indica que tiene una forma oval -alargada.

Tabla 28

Clasificación índice de compacidad o índice de Gravelius en la microcuenca de Joctopuquio.

Microcuenca	Índice de Gravelius	Clasificación
Joctopuquio	1.43	Forma oval-alargada a alargada

Factor forma de Horton

Según la tabla 4 el factor forma de la microcuenca nos da un valor de 0.55 lo que nos indica que tiene una forma ligeramente ensanchada

Tabla 29

Clasificación de la forma de la microcuenca de Joctopuquio.

Microcuenca	Factor Forma de Horton	Clasificación
Joctopuquio	0.45-0.60	Ligeramente ensanchada

Índice de Alargamiento

Según la tabla 5 Índice de alargamiento de la microcuenca nos da un valor de 4.14 lo que nos indica que tiene una forma muy alargada

Tabla 30

Clasificación de Índice de Alargamiento en la microcuenca de Joctopuquio.

Microcuenca	Índice de alargamiento	Clasificación
Joctopuquio	0.45-0.60	Muy alargada

Índice asimétrico

Según la tabla 6 Índice de asimétrico de la microcuenca nos da un valor de 4.32 lo que nos indica que tiene una forma muy alargada

Tabla 31

Clasificación de Índice de Asimétrico en la microcuenca de Joctopuquio.

Microcuenca	Índice asimétrico	Clasificación
Joctopuquio	2.9-4.2	cuenca alargada

En el siguiente cuadro se muestra el resumen de los parámetros de forma de la cuenca de Joctopuquio

Tabla 32

Parámetros de forma de la microcuenca de Joctopuquio

PARAMETROS DE FORMA DE LA CUENCA				
Factor forma de Horton	Ff		$Ff = \frac{Ac}{Lc^2}$	0.55
Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius	Kc		$Kc = 0.28 * \frac{Pc}{\sqrt{Ac}}$	1.43
Lado Mayor	L	Km	$L = \frac{Kc * \sqrt{Ac}}{1.12} * (1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kc})^2})$	4.35
Lado Menor	l	Km	$L = \frac{Kc * \sqrt{Ac}}{1.12} * (1 - \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kc})^2})$	1.01
Índice de alargamiento	Ia		$Ia = \frac{Lax}{Ap}$	4.14
Índice asimétrico	Ias		$Ias = \frac{L}{l}$	4.32

3.2.3 PARÁMETROS DE RELIEVE

Los parámetros morfométricos del relieve desempeñan un papel determinante en la respuesta hidrológica de una cuenca, ejerciendo una influencia más significativa que los parámetros de forma. En particular, un mayor relieve y pendientes más pronunciadas

favorecen una concentración más rápida de los flujos superficiales, lo que reduce el tiempo de concentración y acelera la generación de escorrentía. Como consecuencia, la cuenca responde en lapsos de tiempo menores ante eventos de precipitación, incrementando la magnitud de los caudales pico y la intensidad de los procesos hidrológicos asociados (Ibáñez, Bockheim, & Richards, 2010)

Tabla 33

Parámetros de relieve de la microcuenca de Joctopuquio

ALTITUD (msnm)		Promedio	Área (ha)	Área acumulada	Área sobre la curva	Área en %	Área sobre la curva (%)	Ci*ai
Min	Max							
3237	3350	3293.5	17.03	17.03	262.59	6.1%	93.9%	56081.35
3350	3450	3400	25.39	42.42	237.20	9.1%	84.8%	86336.63
3450	3550	3500	25.04	67.47	212.16	9.0%	75.9%	87653.97
3550	3650	3600	26.15	93.61	186.01	9.4%	66.5%	94124.12
3650	3750	3700	25.07	118.68	160.94	9.0%	57.6%	92772.67
3750	3850	3800	27.10	145.79	133.84	9.7%	47.9%	102985.19
3850	3950	3900	28.00	173.79	105.84	10.0%	37.8%	109203.35
3950	4050	4000	31.71	205.49	74.13	11.3%	26.5%	126820.41
4050	4150	4100	44.27	249.76	29.86	15.8%	10.7%	181507.00
4150	4226	4188	29.86	279.62	0.00	10.7%	0.0%	125053.68
TOTAL			279.62			100.0%		1062538.37

Cálculo de la altitud Media por el METODO DE AREA

La altitud media de una cuenca hidrográfica puede determinarse mediante el método de áreas (AREA), el cual se basa en la distribución espacial de las áreas comprendidas entre curvas de nivel consecutivas. Este método permite obtener un valor representativo de la altitud promedio, considerando la variación altimétrica real de la cuenca. (Horton, 1945)

$$H = \frac{\Sigma(Ci * ai)}{Ac}$$

Donde:

Ci: Cota media del área parcial entre dos curvas de nivel

ai: Área parcial del terreno entre curvas de nivel

Ac: Área de la cuenca

H: Altura media de cuenca

$$H = \frac{1062538.37}{279.62}$$

Por lo tanto, el H= 3799.9

Pendiente media del cauce (j) (%)

La pendiente media del cauce se determina a partir de la relación entre el desnivel altimétrico existente a lo largo del cauce principal y su longitud total, expresándose generalmente en porcentaje. Un incremento en la pendiente del cauce favorece el aumento de la velocidad del flujo a través de la red de drenaje, lo que intensifica la capacidad erosiva del agua y el transporte de sedimentos. En consecuencia, cuencas con pendientes más pronunciadas presentan una mayor susceptibilidad a procesos de erosión y arrastre de materiales sólidos (Gaspari F. , Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

Tabla 34

Pendiente de la microcuenca de Joctopuquio

Pendiente de la cuenca				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A*B
Min	Max			
0	20	10	7225	72250
20	40	30	9290	278700
40	60	50	1304	65200
60	80	70	88	6160
80	100	90	4	360
Total			17911	422670
Pendiente promedio de la cuenca			**23.60**	

Curva hipsométrica y polígono de frecuencias

La curva hipsométrica es una herramienta gráfica que permite analizar la distribución altimétrica de una cuenca hidrográfica, relacionando el área acumulada con la elevación. En esta representación, el eje horizontal corresponde al área de la cuenca y el eje vertical a los valores de altitud. La configuración de la curva hipsométrica constituye un indicador del grado de evolución geomorfológica de la cuenca o Intercuenca, ya que su forma permite identificar la fase de desarrollo del relieve y los procesos erosivos predominantes (Strahler, 1952)

Figura 62

Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes en la microcuenca de Joctopuquio

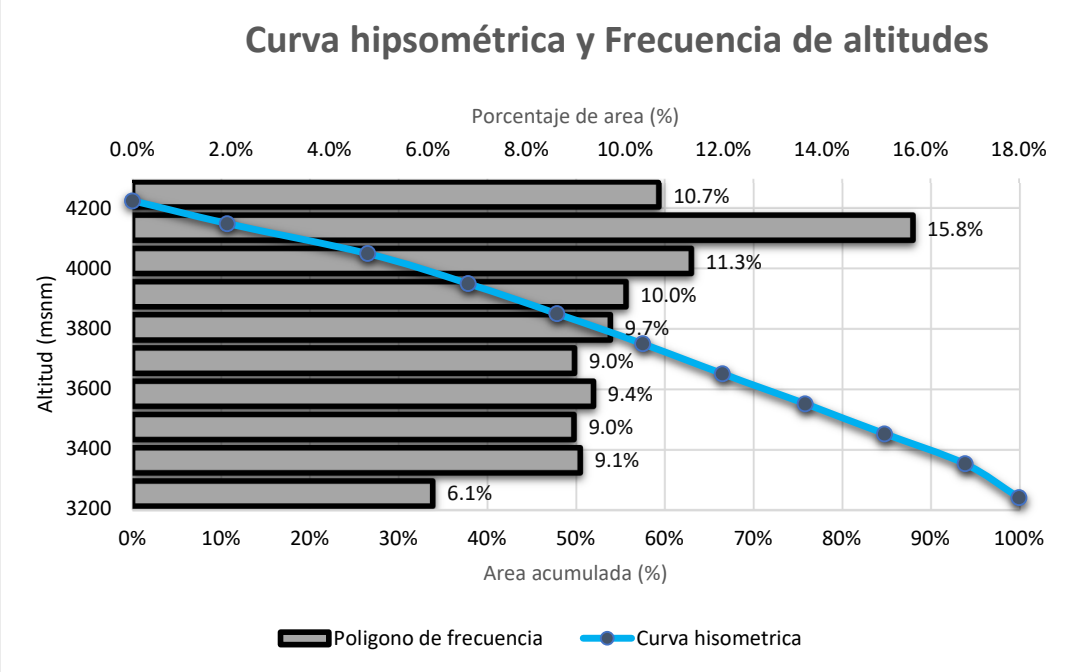
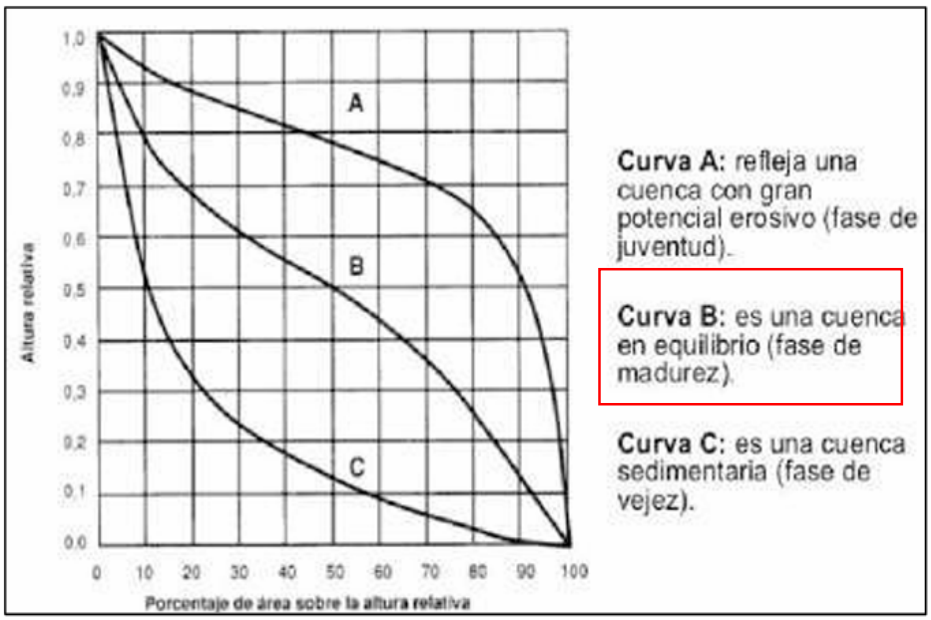


Figura 63

Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión



Nota: Adaptado de Silva (1999)

Características de la red de drenaje

La clasificación de la red de drenaje permite analizar el grado de desarrollo y la complejidad del sistema fluvial de una cuenca hidrográfica. La jerarquía asignada a los tramos de canal está relacionada con el caudal relativo que circula por cada uno de ellos, lo cual define su importancia dentro de la red. Para la jerarquización de los cursos de agua se emplea el método de ordenamiento fluvial propuesto por Strahler, el cual es ampliamente utilizado en el análisis morfométrico de cuencas. (Ibáñez, Bockheim, & Richards, 2010)

Tabla 35

Hidrografía en la microcuenca de Joctopuquio

Hidrografía de la cuenca					
Orden	**Cantidad**	**Longitud (km)**	**Coincidencias (A)**	**Pendiente promedio (B)**	**A*B**
1	88	14.43	1483	54.74	81179.42
2	30	4.80	460	54.87	25240.20
3	10	1.12	109	53.06	5783.54
4	1	3.06	253	31.79	8042.87
Total		23.41	2305.00		120246.03
Pendiente promedio de la red hídrica				52.17	

Perfil longitudinal del río principal.

El perfil longitudinal del rio principal de la zona de estudio representa las diferentes alturas desde su nacimiento a su desembocadura. Se realizó mediane la interpolación de alturas de la línea de drenaje que representa el río principal con el dem (modelo de elevación digital), la interpolación se realizó en ArcGIS.

Figura 64

Perfil del cauce principal de la microcuenca de Joctopuquio

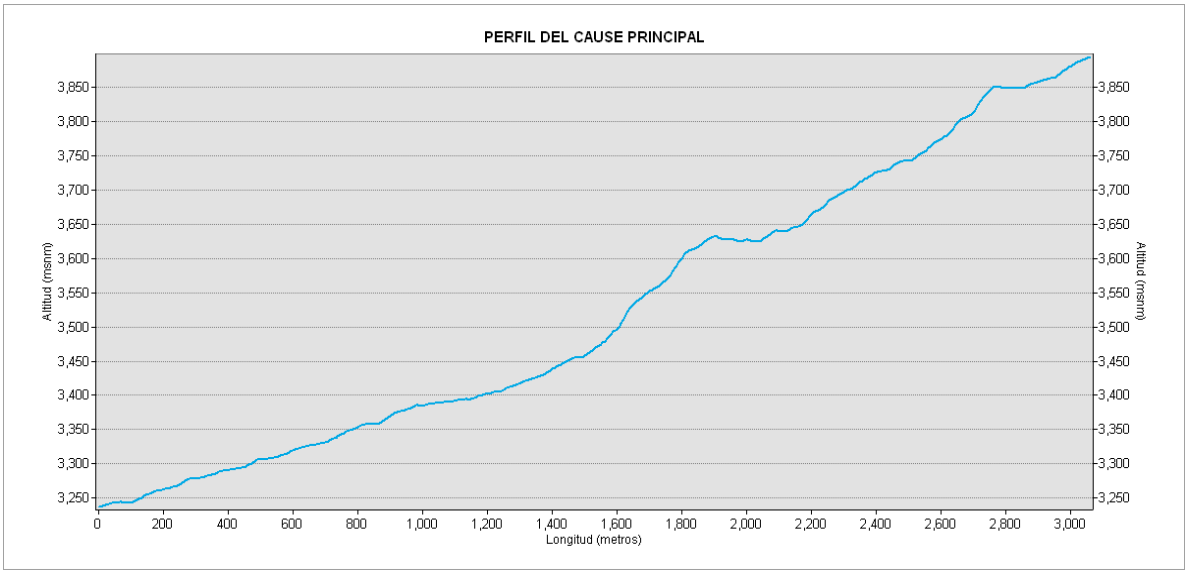
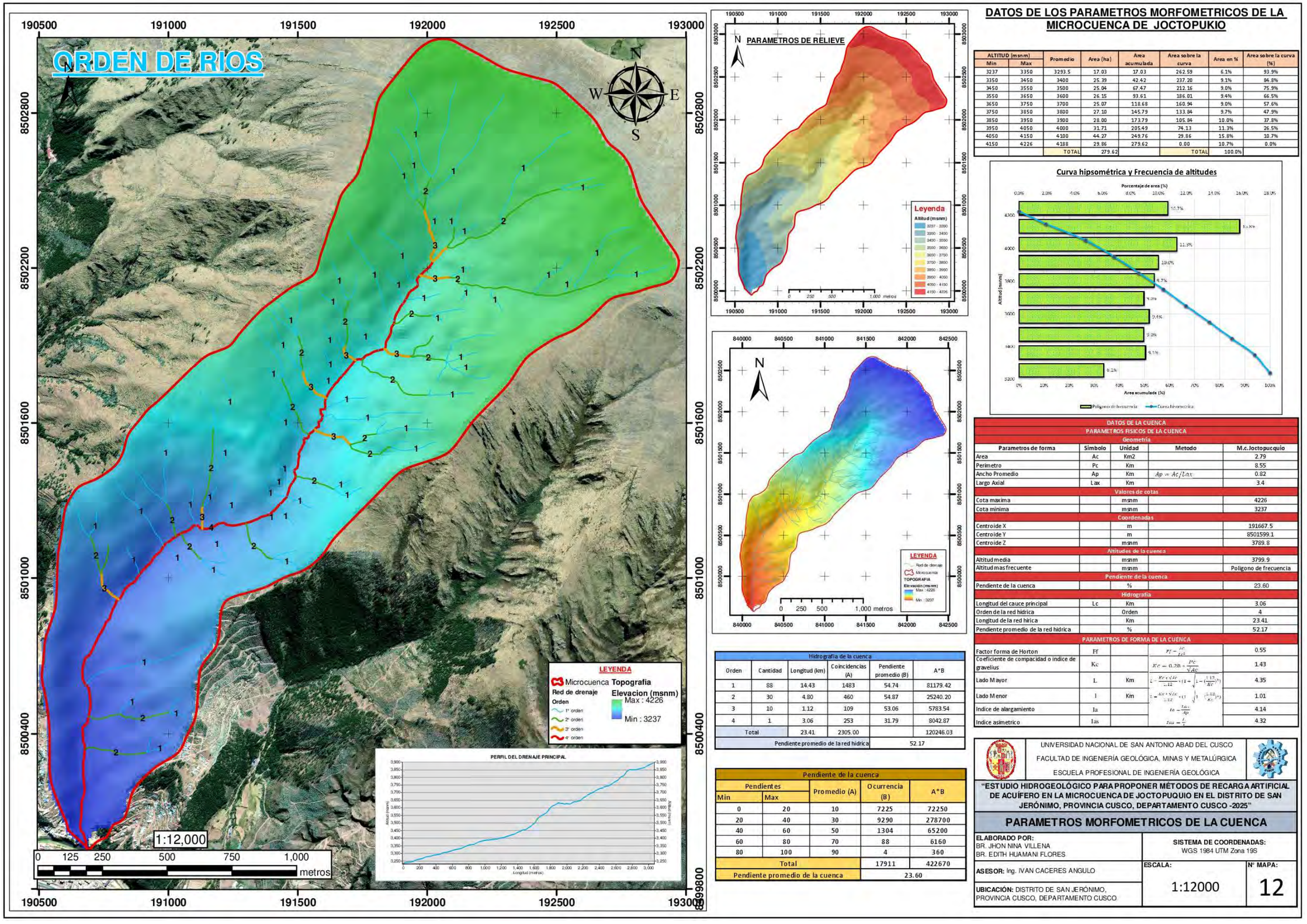


Figura 65 *Mapa de Parámetros morfométricos de la microcuenca de Joctopuquio*



DATOS DE LOS PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA MICROCUENCA DE JOCTOPUKIO

ALTITUD (msnm)		Promedio	Area (ha)	Area acumulada	Area sobre la curva	Area en %	Area sobre la curva (%)
Min	Max						
3237	3350	3293.5	17.03	17.03	262.59	6.1%	93.9%
3350	3450	3400	25.39	42.42	237.20	9.1%	84.8%
3450	3550	3500	25.04	67.47	212.16	9.0%	75.9%
3550	3650	3600	26.15	93.61	186.01	9.4%	66.5%
3650	3750	3700	25.07	118.68	160.94	9.0%	57.6%
3750	3850	3800	27.10	145.79	133.84	9.7%	47.9%
3850	3950	3900	28.00	173.79	105.84	10.0%	37.8%
3950	4050	4000	31.71	205.49	74.13	11.3%	26.5%
4050	4150	4100	44.27	249.76	29.86	15.8%	10.7%
4150	4226	4188	29.86	279.62	0.00	10.7%	0.0%
		TOTAL	279.62		TOTAL	100.0%	

DATOS DE LA CUENCA				
PARAMETROS FISICOS DE LA CUENCA				
Geometria				
Parametros de forma	Simbolo	Unidad	Metodo	M.c.Joctopucquio
Area	Ac	Km2		2.79
Perimetro	Pc	Km		8.55
Ancho Promedio	Ap	Km	$Ap = Ac/Lax$	0.82
Largo Axial	Lax	Km		3.4
Valores de cotas				
Cota maxima		msnm		4226
Cota minima		msnm		3237
Coordenadas				
Centroide X		m		191667.5
Centroide Y		m		8501599.1
Centroide Z		msnm		3789.8
Altitudes de la cuenca				
Altitud media		msnm		3799.9
Altitud mas frecuente		msnm		Poligono de frecuencia
Pendiente de la cuenca				
Pendiente de la cuenca		%		23.60
Hidrografia				
Longitud del cauce principal	Lc	Km		3.06
Orden de la red hidrica		Orden		4
Longitud de la red hirica		Km		23.41
Pendiente promedio de la red hidrica		%		52.17
PARAMETROS DE FORMA DE LA CUENCA				
Factor forma de Horton	Ff		$Ff = \frac{Ac}{Lc^2}$	0.55
Coeficiente de compacidad o indice de gravelius	Kc		$Kc = 0.28 \times \frac{Pc}{\sqrt{Ac}}$	1.43
Lado Mayor	L	Km	$L = \frac{Kc \times \sqrt{Ac}}{1.12} \times (1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kc})^2})$	4.35
Lado Menor	l	Km	$l = \frac{Kc \times \sqrt{Ac}}{1.12} \times (1 - \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kc})^2})$	1.01
Indice de alargamiento	Ia		$Ia = \frac{Lax}{Ap}$	4.14
Indice asimetrico	Ias		$Ias = \frac{l}{L}$	4.32

Hidrografia de la cuenca					
Orden	Cantidad	Longitud (km)	Coincidencias (A)	Pendiente promedio (B)	A*B
1	88	14.43	1483	54.74	81179.42
2	30	4.80	460	54.87	25240.20
3	10	1.12	109	53.06	5783.54
4	1	3.06	253	31.79	8042.87
Total		23.41	2305.00		120246.03
Pendiente promedio de la red hidrica					52.17

Pendiente de la cuenca				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A*B
Min	Max			
0	20	10	7225	72250
20	40	30	9290	278700
40	60	50	1304	65200
60	80	70	88	6160
80	100	90	4	360
Total			17911	422670
Pendiente promedio de la cuenca			23.60	

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

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA

ELABORADO POR: BR. JHON NINA VILLENA BR. EDITH HUAMANI FLORES	**SISTEMA DE COORDENADAS:** WGS 1984 UTM Zona 19S
ASESOR: Ing. IVAN CACERES ANGULO	**ESCALA:** 1:12000 — **N° MAPA:** 12
UBICACIÓN: DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO	

Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

3.3 DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Los datos de precipitación y temperatura han sido obtenidos de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) www.senamhi.gob.pe utilizando datos de la estación meteorológica Granja Kayra. El uso de la única estación meteorológica Kayra es por la cercanía que esta tiene a la zona de estudio (prácticamente en la misma zona), ya que las otras estaciones están muy alejadas (Estación Paruro y estación Pisac).

Tabla 36

Ubicación de las estaciones meteorológica

CODIGO	*ESTACION*	*COOR_X*	*COOR_Y*	*ALTITUD*	*PP*
100044	KAYRA	188805.29	8499462.96	3214 msnm	673.77
113122	CAYCAY	208243.87	8498587.66	3117 msnm	473.54
472A6280	PISAC	190940.66	8514337.66	2966 msnm	592.53

3.3.1 PRECIPITACIÓN

Análisis de precipitación.

En la estimación de la precipitación en la cuenca Joctopuquio se evalúan los datos de precipitación total mensual registrado solo en la estación Granja Kayra ya que esta se encuentra muy cercana a la cuenca, sin embargo, para el análisis es necesario usar datos de dos estaciones adicionales Paruro y Pisac para poder llevar a cabo la comparación de confiabilidad de datos.

Completación de datos meteorológicos.

El procedimiento mediante el cual se rellenan los "vacíos" de un registro de datos se conoce como exhaustividad de los datos. Esto se hace para crear series periódicas tan completas, fiables y uniformes como sea posible. Algunas de estas técnicas son la media aritmética, la relación normal y la interpolación.

Para completar los datos mensuales de precipitación se ha utilizado el método de regresión lineal, para las estaciones meteorológicas.

$$y' = \bar{y} + r\frac{Sy}{Sx} * (x - \bar{x})$$

Donde:

y’ = Valor a buscar

$\bar{y}$ = Media aritmética de todos los datos y

Sy = Desviación estándar para los datos de y

$\bar{x}$ = Media aritmética de todos los datos x que conforma parejas con los de y

Sx = Desviación estándar para los datos de x que conforma parejas con los de y

r = número de datos conocidos de los datos de Y

Tabla 37

Precipitación media anual de la estación Kayra.

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL ESTACIÓN KAYRA COMPLETADO													
N°	Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1965	101.80	100.50	112.40	88.00	5.80	0.00	0.40	1.00	29.60	58.30	42.50	153.00
2	1966	78.30	171.20	79.90	18.30	19.80	0.00	0.00	1.70	31.90	59.70	65.20	71.40
3	1967	59.10	118.40	140.30	19.00	1.80	0.60	11.00	19.00	32.80	70.90	57.20	125.60
4	1968	149.40	106.60	84.50	34.60	6.30	5.30	30.90	8.60	16.30	84.60	86.70	54.40
5	1969	144.40	77.80	88.10	16.80	2.90	3.30	7.20	3.90	22.80	29.80	54.70	72.90
6	1970	170.60	92.60	132.50	86.10	2.30	1.00	3.70	3.40	42.10	46.10	48.20	177.40
7	1971	128.90	161.60	83.60	40.00	1.50	0.10	0.00	5.70	3.50	55.70	51.00	127.50
8	1972	192.10	66.80	57.20	29.70	3.40	0.00	6.50	27.30	12.20	7.90	50.20	100.20
9	1973	221.30	120.90	99.60	75.20	14.00	0.00	9.10	11.80	14.50	65.10	88.80	96.50
10	1974	102.50	157.70	121.50	34.50	3.60	8.20	1.00	34.60	5.90	43.30	60.90	108.00
11	1975	124.70	131.00	55.30	66.80	22.50	0.70	0.30	0.60	51.10	47.50	51.00	170.10
12	1976	119.60	83.10	123.10	42.90	13.00	8.70	0.70	2.50	26.80	25.30	47.80	66.80
13	1977	116.70	122.80	69.30	47.60	7.90	0.00	4.40	0.00	29.90	65.00	71.50	78.00
14	1978	175.40	106.10	88.50	48.70	11.40	0.00	3.40	0.00	13.70	12.30	86.70	117.90
15	1979	101.10	131.60	108.80	46.80	6.20	0.00	0.90	8.10	11.50	18.40	85.60	81.80
16	1980	106.20	126.40	135.00	23.20	3.70	0.00	5.30	1.00	12.60	62.90	60.20	83.10
17	1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30
18	1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60
19	1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20
20	1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80
21	1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40
22	1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70
23	1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60
24	1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70
25	1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	15.70	60.70	88.50
26	1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50
27	1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00
28	1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00
29	1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50
30	1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90
31	1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60
32	1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	57.16	66.00	110.40
33	1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40
34	1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.68	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90
35	1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50
36	2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00
37	2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40
38	2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40
39	2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80
40	2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90
41	2005	140.80	112.68	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50
42	2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20
43	2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00	49.40	72.40	88.40
44	2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90
45	2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90
46	2010	268.60	168.50	129.20	16.60	1.30	0.10	1.40	4.70	8.20	63.60	40.40	174.10
47	2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20
48	2012	70.50	157.90	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50
49	2013	187.30	137.20	75.50	13.00	6.40	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40
50	2014	161.90	116.50	40.00	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60	82.20	37.50	155.90
51	2015	151.30	140.90	66.70	70.80	16.40	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00
52	2016	104.00	147.80	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	7.00	79.50	28.00	89.80
53	2017	110.40	84.30	118.10	47.50	11.20	0.10	0.00	8.00	18.30	27.70	60.00	101.70
54	2018	154.80	162.20	145.70	19.60	0.20	16.20	15.80	7.10	7.00	80.70	80.80	95.20
55	2019	121.00	126.60	164.40	38.90	10.91	1.50	3.70	0.00	9.80	82.40	111.70	140.40
56	2020	124.50	153.30	80.20	31.85	2.88	0.00	8.20	1.00	14.60	17.50	40.90	139.70
57	2021	150.50	116.50	74.10	90.50	6.70	11.50	0.00	4.30	1.50	38.20	102.30	106.10
58	2022	198.10	89.70	142.20	6.20	1.00	0.50	0.00	2.50	21.90	1.20	27.50	40.70
59	2023	91.70	130.40	62.00	39.60	45.80	0.00	0.00	5.70	13.40	21.80	57.30	144.80
60	2024	73.30	83.60	129.30	55.20	14.80	0.10	0.50	0.80	24.40	26.60	131.60	109.20
SUMA		8584.30	7303.48	5962.40	2480.15	413.09	219.80	234.38	342.10	1048.30	2805.66	4366.10	6667.20
NoDATOS		60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PROMEDIO		143.07	121.72	99.37	41.34	6.88	3.66	3.91	5.70	17.47	46.76	72.77	111.12
MINIMO		59.10	58.70	22.60	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.20	23.10	40.70
MAXIMO		268.60	184.60	173.90	108.90	45.80	31.80	30.90	34.60	51.10	114.60	201.50	201.50

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024)

Tabla 38

Precipitación media anual de la estación Caycay

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL ESTACIÓN CAICAY COMPLETADO													
N°	Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1965	69.80	51.70	79.90	70.10	11.00	0.00	4.50	0.40	54.10	20.50	38.90	118.40
2	1966	65.40	101.90	107.80	21.10	28.10	1.20	0.00	3.00	5.30	18.80	73.70	48.30
3	1967	46.40	106.50	38.42	21.30	4.52	0.00	3.80	9.52	11.10	10.82	6.60	41.71
4	1968	57.95	88.80	44.05	8.14	3.00	2.80	7.30	7.10	12.67	7.65	57.78	26.64
5	1969	57.51	46.64	33.56	4.70	0.20	0.70	0.00	1.00	7.70	20.40	44.30	49.43
6	1970	59.97	27.56	43.72	24.97	5.42	0.05	0.01	0.02	6.34	25.04	8.05	84.67
7	1971	103.42	123.58	35.86	18.29	0.00	0.02	0.03	0.03	1.81	0.06	4.06	37.09
8	1972	28.68	22.18	21.58	7.66	0.04	0.01	0.02	31.24	0.07	0.08	19.79	65.36
9	1973	68.15	56.18	68.78	87.43	26.16	2.63	5.99	11.37	16.56	15.67	27.84	71.70
10	1974	70.05	118.46	88.85	44.95	4.62	0.02	0.00	19.95	0.02	10.17	14.34	43.85
11	1975	88.59	104.48	155.22	20.81	25.09	2.87	0.00	6.33	24.93	11.97	21.05	112.79
12	1976	100.87	83.20	62.78	55.82	13.52	12.32	0.00	0.02	17.38	2.03	4.86	27.54
13	1977	24.27	100.66	62.98	27.83	0.00	0.01	2.42	0.01	41.35	7.97	42.00	30.41
14	1978	99.91	48.08	48.89	21.16	2.21	0.01	0.00	0.00	5.61	0.03	37.08	52.87
15	1979	92.05	70.41	55.81	14.17	2.32	0.00	0.00	0.03	2.01	2.81	30.07	43.28
16	1980	35.10	47.19	36.89	8.83	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	11.36	19.35	26.44
17	1981	92.24	46.64	85.84	25.33	0.00	0.01	0.00	7.72	11.12	30.56	68.96	43.10
18	1982	66.29	8.75	40.96	6.04	0.00	4.20	0.01	0.01	2.05	31.63	55.18	15.35
19	1983	48.28	24.66	6.02	21.09	5.31	3.04	1.38	0.00	5.55	2.31	9.00	15.66
20	1984	58.51	55.82	30.97	13.75	0.00	7.04	0.00	6.30	0.00	73.00	25.17	45.76
21	1985	27.63	24.92	13.05	3.42	3.31	5.72	0.02	0.00	4.20	5.12	39.54	57.89
22	1986	64.98	38.32	94.00	21.61	4.91	0.00	0.00	0.01	6.21	5.80	5.42	19.84
23	1987	116.90	30.56	49.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	8.72	81.86	33.54
24	1988	70.35	59.97	64.29	27.86	5.51	0.00	0.00	0.83	0.00	5.51	3.60	90.93
25	1989	102.80	44.47	76.05	11.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	17.80	32.62	42.15
26	1990	78.88	30.63	14.35	21.74	8.03	22.68	2.21	2.20	0.00	33.04	128.69	103.81
27	1991	25.86	129.86	24.23	10.01	5.80	10.91	0.00	0.00	0.02	6.73	68.64	70.74
28	1992	49.14	54.94	65.24	13.41	0.00	14.52	0.00	10.02	2.30	24.64	72.74	62.23
29	1993	69.42	40.50	64.45	18.62	0.01	0.01	0.00	4.23	0.00	2.20	57.93	90.73
30	1994	70.66	82.32	84.70	18.01	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	31.20	13.60	61.71
31	1995	66.83	12.72	87.93	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	6.21	21.64	61.20
32	1996	83.01	57.90	67.30	38.40	6.20	0.00	0.00	17.91	0.00	25.60	33.80	75.01
33	1997	63.30	74.90	98.60	7.50	3.00	0.00	0.00	3.50	6.80	15.01	54.40	31.40
34	1998	14.60	72.60	35.40	7.10	0.00	2.20	0.00	4.50	0.00	6.50	26.90	59.50
35	1999	72.30	102.30	82.70	52.30	0.80	0.00	4.90	0.00	17.60	16.20	24.60	106.60
36	2000	149.40	77.00	81.90	2.90	1.80	11.60	9.00	3.10	3.70	32.60	17.70	77.00
37	2001	250.80	155.00	140.40	29.60	17.70	0.00	20.60	24.40	19.00	93.50	71.20	80.00
38	2002	91.10	186.00	98.40	22.70	6.00	0.00	29.00	0.00	16.30	29.80	48.70	95.80
39	2003	159.00	157.20	225.00	28.60	2.50	6.20	0.00	17.30	10.40	7.00	19.50	155.70
40	2004	120.90	106.90	72.20	18.70	2.80	34.80	19.60	11.40	10.40	26.00	62.00	63.20
41	2005	72.60	139.60	85.20	30.80	3.80	0.00	0.00	5.90	10.60	28.90	46.60	90.00
42	2006	186.90	86.00	107.80	52.70	0.00	8.50	4.30	8.20	7.20	76.90	80.80	76.10
43	2007	156.20	114.50	167.11	37.00	4.50	0.00	10.80	1.40	0.00	40.70	74.20	54.70
44	2008	141.60	128.80	41.50	10.70	14.70	16.20	0.00	9.20	7.20	52.30	75.60	159.60
45	2009	109.50	89.30	62.60	35.50	6.50	0.00	4.50	2.00	6.70	5.70	80.50	78.10
46	2010	197.70	92.60	73.10	1.30	14.90	0.00	2.00	7.80	8.70	56.70	24.00	140.50
47	2011	121.30	229.80	95.50	68.00	0.30	4.50	5.50	0.00	19.70	53.10	63.00	99.60
48	2012	83.30	160.90	24.60	5.32	1.90	0.80	3.00	1.70	9.70	6.00	84.30	138.00
49	2013	168.60	116.90	102.70	22.21	3.90	3.60	6.00	18.10	17.50	210.00	167.50	295.60
50	2014	305.10	221.70	88.70	80.90	17.90	0.00	3.20	5.80	12.60	82.20	37.50	155.90
51	2015	151.30	140.90	66.70	70.80	16.40	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	35.21	79.99
52	2016	77.58	114.80	53.01	18.53	2.40	0.62	3.70	1.20	6.05	49.33	23.96	62.72
53	2017	110.40	84.30	118.10	47.50	11.20	0.10	6.29	1.80	18.30	27.70	60.00	101.70
54	2018	154.80	162.20	145.70	19.60	0.20	16.20	0.00	8.00	7.00	80.70	80.80	95.20
55	2019	121.00	126.60	164.40	38.90	0.00	1.50	15.80	7.10	9.80	82.40	111.70	140.40
56	2020	124.50	153.30	80.20	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	14.60	17.50	40.90	139.70
57	2021	150.50	116.50	74.10	90.50	6.70	11.50	8.20	1.00	1.50	38.20	102.30	106.10
58	2022	198.10	89.70	142.20	6.20	1.00	0.50	3.00	4.30	21.90	1.20	27.50	40.70
59	2023	91.70	130.40	62.00	39.60	45.80	0.00	0.00	2.50	13.40	21.80	57.30	144.80
60	2024	72.00	98.90	112.30	32.00	18.80	10.20	0.50	0.70	23.00	43.30	103.50	62.90
SUMA		5875.98	5470.11	4556.57	1585.03	370.80	223.73	201.59	294.76	566.17	1695.77	2870.32	4701.64
N°DATOS		60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PROMEDIO		97.93	91.17	75.94	26.42	6.18	3.73	3.36	4.91	9.44	28.26	47.84	78.36
MINIMO		14.60	8.75	6.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	3.60	15.35
MAXIMO		305.10	229.80	225.00	90.50	45.80	34.80	29.00	31.24	54.10	210.00	167.50	295.60

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024)

Tabla 39

Precipitación media anual de la estación Pisac

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL ESTACIÓN PISAC COMPLETADO													
N°	Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBR	DICIEMBRE
1	1965	60.50	38.60	71.00	43.00	0.00	0.00	2.50	0.00	40.10	11.00	17.00	97.50
2	1966	61.00	33.70	24.20	2.00	18.10	0.00	2.00	0.01	16.42	9.60	15.82	37.00
3	1967	50.00	79.40	95.50	0.00	13.00	2.36	17.14	9.92	9.46	37.86	59.24	65.27
4	1968	128.73	179.93	32.08	13.35	1.05	5.23	17.94	0.23	8.55	9.55	112.94	30.23
5	1969	138.37	65.95	151.63	61.10	0.02	19.53	13.01	4.11	19.94	26.63	60.52	103.76
6	1970	150.40	279.64	402.33	57.33	7.36	6.37	7.24	11.32	73.24	94.76	17.35	307.57
7	1971	155.35	291.21	80.73	58.33	4.11	5.94	2.10	9.10	0.02	50.34	18.62	43.63
8	1972	108.82	53.34	136.51	25.93	4.11	0.00	7.41	12.83	13.31	4.21	24.82	77.53
9	1973	267.23	205.12	141.04	60.61	9.51	9.72	12.87	13.44	7.14	32.92	56.81	152.03
10	1974	131.72	184.61	130.11	50.71	4.11	11.42	1.02	27.84	6.22	10.10	11.51	70.00
11	1975	80.60	101.34	83.82	44.11	44.65	5.11	0.00	0.00	16.83	26.47	39.78	68.61
12	1976	133.00	53.21	123.72	39.10	49.50	3.22	2.12	2.00	21.84	4.12	39.61	39.84
13	1977	86.51	112.52	69.40	34.30	0.00	0.00	4.02	4.12	12.42	19.10	128.43	14.27
14	1978	212.74	151.83	128.21	81.33	31.11	0.00	0.00	0.02	21.93	2.10	37.91	81.91
15	1979	219.62	163.41	179.41	59.31	7.11	8.02	6.02	2.02	19.91	18.41	39.22	73.24
16	1980	92.84	182.23	226.80	89.76	2.03	0.00	0.00	11.32	36.75	39.82	5.00	48.52
17	1981	97.95	178.34	89.72	31.42	9.34	4.24	15.32	3.00	15.40	63.50	118.10	117.92
18	1982	276.41	68.45	236.21	195.41	25.54	8.01	1.02	15.11	19.91	30.14	104.55	18.73
19	1983	5.13	31.14	111.27	29.85	0.01	2.03	11.16	6.13	13.32	18.55	30.55	34.02
20	1984	103.53	106.89	108.40	35.00	4.37	7.39	2.15	16.53	8.10	46.66	71.42	13.64
21	1985	140.66	205.51	194.52	64.34	8.31	0.00	0.00	5.11	27.96	108.14	131.23	25.02
22	1986	27.82	118.93	134.02	38.53	12.51	0.00	2.15	3.38	4.04	2.12	8.31	11.80
23	1987	276.30	45.96	24.63	13.35	0.01	14.63	9.12	0.02	0.01	8.23	81.32	38.82
24	1988	96.12	99.62	193.41	52.41	2.03	0.00	0.00	0.00	2.30	12.03	13.74	85.91
25	1989	116.33	94.83	111.51	25.92	8.06	0.02	3.02	9.25	7.24	20.52	20.22	27.15
26	1990	76.75	45.63	20.33	82.60	6.25	38.46	0.01	3.02	8.40	44.12	99.42	115.01
27	1991	76.23	101.73	64.56	31.40	11.54	8.01	0.00	2.05	2.03	50.75	61.41	65.44
28	1992	81.03	45.42	31.71	22.62	0.03	26.03	2.15	13.33	4.02	32.00	91.80	73.00
29	1993	178.91	82.93	12.46	36.05	8.25	4.20	8.25	14.25	3.02	18.23	87.04	109.85
30	1994	167.20	118.00	151.63	59.83	5.31	0.01	0.02	0.05	12.44	52.62	13.22	158.60
31	1995	98.91	79.53	80.01	7.20	4.22	0.01	0.01	0.02	12.23	24.20	18.21	51.60
32	1996	117.60	69.31	44.42	69.32	12.15	0.00	0.03	21.61	10.72	52.52	47.51	85.09
33	1997	112.39	108.85	99.50	4.10	2.90	0.00	0.00	20.10	18.10	13.50	108.90	97.80
34	1998	129.80	98.70	38.20	21.60	4.20	3.00	0.00	0.80	13.50	64.00	50.90	51.30
35	1999	93.20	122.30	51.50	28.30	4.90	2.53	2.60	0.00	30.00	17.70	40.20	105.90
36	2000	159.80	105.40	58.70	2.20	9.10	3.70	0.00	2.00	4.40	41.60	11.00	70.60
37	2001	211.20	136.40	152.20	19.90	12.10	0.00	19.40	5.60	8.00	50.00	77.40	102.00
38	2002	90.60	161.40	106.10	35.80	6.60	4.30	46.60	3.30	10.90	39.40	91.60	127.90
39	2003	114.40	108.70	110.70	15.80	4.40	6.80	0.00	23.60	4.00	31.70	18.30	120.90
40	2004	149.90	109.20	95.60	15.80	2.00	16.40	10.30	6.90	32.50	25.90	43.00	94.30
41	2005	127.00	76.90	69.10	29.60	0.00	0.00	1.50	3.70	4.10	18.00	50.50	58.60
42	2006	170.70	82.20	125.00	34.50	0.00	30.00	0.00	14.30	5.20	42.70	69.70	117.10
43	2007	102.70	55.80	135.80	42.10	7.60	0.00	1.70	0.00	4.90	32.70	66.90	83.30
44	2008	154.30	151.50	61.50	8.50	5.90	3.60	0.70	3.20	9.80	46.80	64.10	133.90
45	2009	89.90	89.40	66.20	14.10	0.20	0.00	3.10	0.80	20.40	8.20	118.10	115.30
46	2010	270.10	145.10	155.80	6.00	6.50	1.10	1.40	11.40	1.80	72.70	26.30	204.20
47	2011	100.70	170.60	109.20	32.90	6.80	7.00	8.60	0.60	27.90	26.20	48.00	139.50
48	2012	67.00	157.00	54.20	30.10	1.20	0.00	0.80	0.50	24.10	8.60	127.00	146.80
49	2013	104.80	152.20	68.10	23.30	10.70	5.40	4.10	15.80	5.60	132.00	52.90	170.10
50	2014	143.80	82.60	68.70	50.00	12.80	0.00	4.97	6.86	14.50	61.73	51.01	131.82
51	2015	139.03	115.64	104.28	41.10	15.95	5.22	11.22	6.15	15.55	30.05	49.45	87.97
52	2016	116.72	112.95	105.86	35.51	6.07	2.96	5.41	4.16	12.53	45.23	41.76	77.99
53	2017	66.40	52.30	116.40	55.40	12.10	3.20	5.91	2.73	10.17	57.40	22.16	69.47
54	2018	124.30	121.10	107.00	32.00	3.90	14.20	13.60	15.00	11.80	80.90	92.60	70.00
55	2019	100.00	77.70	126.00	18.80	17.60	0.50	9.10	0.00	4.80	53.10	95.80	93.90
56	2020	132.10	107.70	87.70	0.00	0.00	0.40	0.90	0.00	0.10	16.30	19.80	79.80
57	2021	90.00	92.30	29.40	24.30	6.80	2.70	0.00	2.30	2.30	29.50	87.80	66.30
58	2022	102.90	43.40	73.40	1.30	1.10	0.20	0.00	10.50	13.20	0.60	27.60	72.40
59	2023	54.80	31.70	68.90	25.60	44.60	0.00	4.60	1.40	13.10	13.70	75.80	113.70
60	2024	46.80	90.00	72.90	21.00	7.10	2.90	2.00	0.10	16.60	30.60	170.00	118.80
SUMA		7379.65	6627.29	6203.25	2185.13	526.82	306.07	308.31	382.94	815.06	2072.13	3481.21	5264.15
NoDATOS		60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
PROMEDIO		122.99	110.45	103.39	36.42	8.78	5.10	5.14	6.38	13.58	34.54	58.02	87.74
MINIMO		5.13	31.14	12.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.60	5.00	11.80
MAXIMO		276.41	291.21	402.33	195.41	49.50	38.46	46.60	27.84	73.24	132.00	170.00	307.57

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024)

Análisis de consistencia

Análisis Visual Grafico Según Villón Béjar (2006), Este gráfico facilita la visualización para analizar la consistencia de la información hidrológica en forma visual, e indicar el período o períodos en los cuales la información es dudosa, lo cual se puede reflejar como " picos" muy altos o valores muy bajos, saltos y tendencias, los mismos que deberán comprobarse, si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido, o si son producto de errores sistemáticos. De acuerdo con la evaluación realizada a los hidrogramas de precipitaciones provenientes de diversas estaciones meteorológicas, se descarta la presencia de inconsistencias en los datos. No obstante, se observa la existencia de lagunas o falta de información en algunos casos.

Figura 66

Serie histórica de precipitación de la estación Kayra periodo (1965-2024)



Figura 67

Serie histórica de precipitación de la estación Caycay periodo (1965-2024)

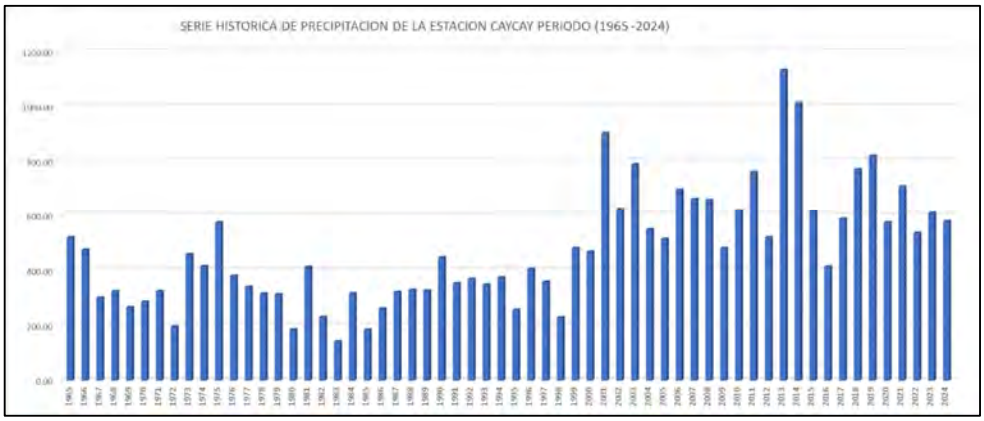


Figura 68

Serie histórica de precipitación de la estación Pisac periodo (1965-2024)



Análisis de doble masa

El análisis de doble masa nos da información sobre la confiabilidad de los datos de precipitación, para realizar el análisis se reconoce los datos no homogéneos o erróneos que se produjo durante la recolección de datos, estos se manifestaran como quiebres en la curva de doble masa que se presentan en el diagrama; para el reconocimiento de datos recolectados con mayor consistencia será aquella estación que presenta menos quiebres en el histograma; cabe resaltar que en este análisis se mencionan los datos erróneos mediante los quiebres mas no se hace la corrección de datos.

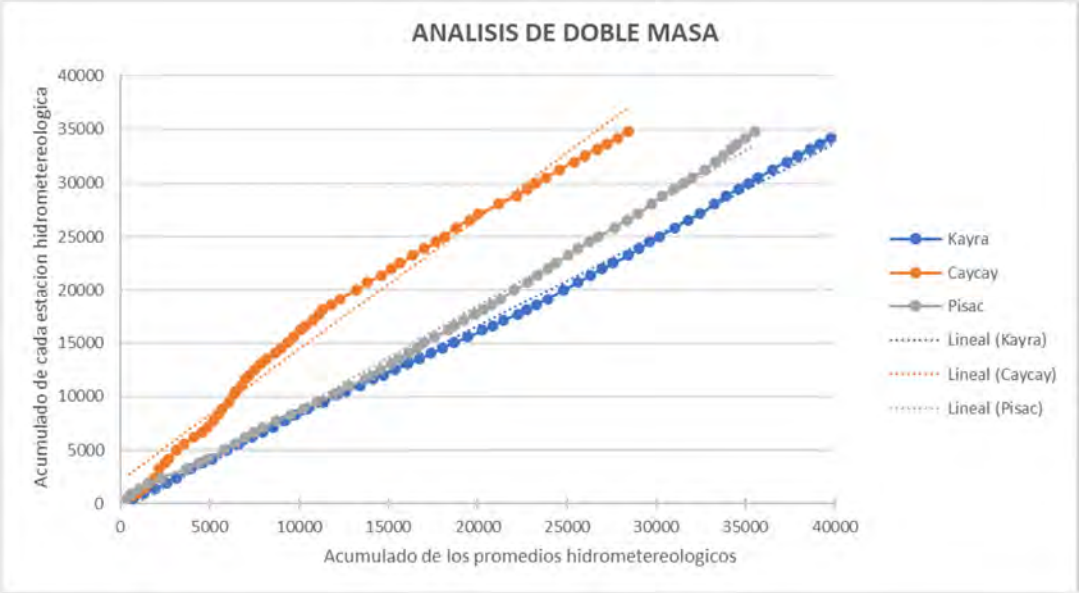
Tabla 40

Acumulado anual de cada estación Hidrometereológica de cada estación

ESTACIONES									
N°		KAYRA		CAYCAY		PISAC		PROMEDIO	
	Año	X P. Annual	X Ac. P. Anual	X P. Anual	X Ac. P. Anual	X Ac. P. Anual	X Ac. P. Anual	X P. Anual	X Ac. P. Anual
1	1965	693.30	693.30	519.30	519.30	381.20	381.20	531.27	531.27
2	1966	597.40	1290.70	474.60	993.90	219.85	601.05	430.62	961.88
3	1967	655.70	1946.40	300.69	1294.59	439.15	1040.20	465.18	1427.06
4	1968	668.20	2614.60	323.88	1618.47	539.81	1580.01	510.63	1937.69
5	1969	524.60	3139.20	266.14	1884.61	664.57	2244.58	485.10	2422.80
6	1970	806.00	3945.20	285.82	2170.43	1414.91	3659.49	835.58	3258.37
7	1971	659.10	4604.30	324.25	2494.68	719.48	4378.97	567.61	3825.98
8	1972	553.50	5157.80	196.71	2691.39	468.82	4847.79	406.34	4232.33
9	1973	816.80	5974.60	458.46	3149.85	968.44	5816.23	747.90	4980.23
10	1974	681.70	6656.30	415.28	3565.13	639.37	6455.60	578.78	5559.01
11	1975	721.60	7377.90	574.13	4139.26	511.32	6966.92	602.35	6161.36
12	1976	560.30	7938.20	380.34	4519.60	511.28	7478.20	483.97	6645.33
13	1977	613.10	8551.30	339.91	4859.51	485.09	7963.29	479.37	7124.70
14	1978	664.10	9215.40	315.85	5175.36	749.09	8712.38	576.35	7701.05
15	1979	600.80	9816.20	312.96	5488.32	795.70	9508.08	569.82	8270.87
16	1980	619.60	10435.80	185.18	5673.50	735.07	10243.15	513.28	8784.15
17	1981	922.90	11358.70	411.52	6085.02	744.25	10987.40	692.89	9477.04
18	1982	786.80	12145.50	230.47	6315.49	999.49	11986.89	672.25	10149.29
19	1983	483.70	12629.20	142.31	6457.80	293.16	12280.05	306.39	10455.68
20	1984	800.50	13429.70	316.32	6774.12	524.07	12804.13	546.97	11002.65
21	1985	728.30	14158.00	184.82	6958.94	910.80	13714.93	607.97	11610.62
22	1986	569.10	14727.10	261.10	7220.04	363.61	14078.54	397.94	12008.56
23	1987	630.60	15357.70	321.57	7541.61	512.40	14590.94	488.19	12496.75
24	1988	725.50	16083.20	328.85	7870.46	557.57	15148.51	537.31	13034.06
25	1989	653.30	16736.50	326.95	8197.41	444.07	15592.58	474.77	13508.83
26	1990	641.10	17377.60	446.26	8643.67	540.00	16132.58	542.45	14051.28
27	1991	682.40	18060.00	352.80	8996.48	475.15	16607.73	503.45	14554.73
28	1992	609.30	18669.30	369.18	9365.66	423.14	17030.87	467.21	15021.94
29	1993	799.90	19469.20	348.10	9713.76	563.44	17594.31	570.48	15592.42
30	1994	798.40	20267.60	374.20	10087.96	738.93	18333.24	637.18	16229.60
31	1995	560.00	20827.60	256.55	10344.51	376.15	18709.39	397.57	16627.17
32	1996	603.15	21430.75	405.13	10749.64	530.28	19239.66	512.85	17140.02
33	1997	805.30	22236.05	358.41	11108.05	586.14	19825.80	583.28	17723.30
34	1998	494.58	22730.63	229.30	11337.35	476.00	20301.80	399.96	18123.26
35	1999	543.10	23273.73	480.30	11817.65	499.13	20800.93	507.51	18630.77
36	2000	652.00	23925.73	467.70	12285.35	468.50	21269.43	529.40	19160.17
37	2001	864.10	24789.83	902.20	13187.55	794.20	22063.63	853.50	20013.67
38	2002	822.10	25611.93	623.80	13811.35	724.50	22788.13	723.47	20737.14
39	2003	713.70	26325.63	788.40	14599.75	559.30	23347.43	687.13	21424.27
40	2004	632.00	26957.63	548.90	15148.65	601.80	23949.23	594.23	22018.51
41	2005	620.98	27578.61	514.00	15662.65	439.00	24388.23	524.66	22543.16
42	2006	856.30	28434.91	695.40	16358.05	691.40	25079.63	747.70	23290.86
43	2007	621.40	29056.31	661.11	17019.16	533.50	25613.13	605.34	23896.20
44	2008	592.40	29648.71	657.40	17676.56	643.80	26256.93	631.20	24527.40
45	2009	525.50	30174.21	480.90	18157.46	525.70	26782.63	510.70	25038.10
46	2010	876.70	31050.91	619.30	18776.76	902.40	27685.03	799.47	25837.57
47	2011	740.50	31791.41	760.30	19537.06	678.00	28363.03	726.27	26563.83
48	2012	679.60	32471.01	519.52	20056.58	617.30	28980.33	605.47	27169.31
49	2013	796.60	33267.61	1132.61	21189.19	745.00	29725.33	891.40	28060.71
50	2014	660.70	33928.31	1011.50	22200.69	628.78	30354.12	766.99	28827.71
51	2015	661.70	34590.01	615.30	22815.99	621.62	30975.74	632.87	29460.58
52	2016	542.80	35132.81	413.90	23229.89	567.14	31542.88	507.95	29968.53
53	2017	587.30	35720.11	587.39	23817.28	473.64	32016.52	549.44	30517.97
54	2018	785.30	36505.41	770.40	24587.68	686.40	32702.92	747.37	31265.34
55	2019	811.31	37316.72	819.60	25407.28	597.30	33300.22	742.74	32008.07
56	2020	614.62	37931.34	574.40	25981.68	444.80	33745.02	544.61	32552.68
57	2021	702.20	38633.54	707.10	26688.78	433.70	34178.72	614.33	33167.02
58	2022	531.50	39165.04	536.30	27225.08	346.60	34525.32	471.47	33638.48
59	2023	612.50	39777.54	609.30	27834.38	447.90	34973.22	556.57	34195.05
60	2024	649.40	40426.94	578.10	28412.48	578.80	35552.02	602.10	34797.15

Figura 69

Diagrama de análisis de doble masa estación Kayra



Análisis de saltos

Determinación de datos invertidos. Para el análisis de saltos de la estación Kayra, primero se calcula la precipitación anual acumulada de manera invertido (2024-1965) de las 3 estaciones: Estación Kayra, Pisac y Caycay. En relación a la curva de doble masa, se hace el cálculo de la media o el promedio aritmético donde la curva está en función a la precipitación acumulada de la estación de Kayra y el promedio de las precipitaciones acumuladas de las 3 estaciones.

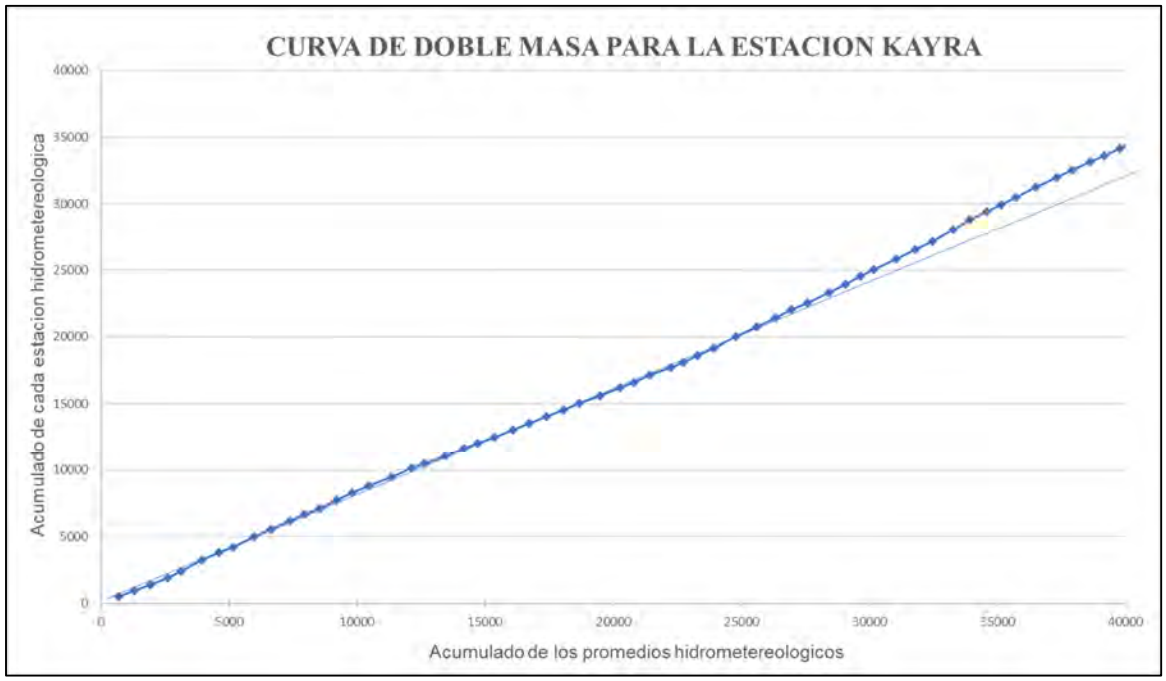
Tabla 41

Acumulado anual de cada estación Hidrometereológica de cada estación

ESTACIONES								
	KAYRA		CAYCAY		PISAC		PROMEDIO	
Año	X P. Annual	X Ac. P. Anual	X P. Anual	X Ac. P.	X Ac. P. Anual	X Ac. P.	X P. Anual	X Ac. P. Anual
2024	649.40	649.40	578.10	578.10	578.80	578.80	602.10	602.10
2023	612.50	1261.90	609.30	1187.40	447.90	1026.70	556.57	1158.67
2022	531.50	1793.40	536.30	1723.70	346.60	1373.30	471.47	1630.13
2021	702.20	2495.60	707.10	2430.80	433.70	1807.00	614.33	2244.47
2020	614.62	3110.22	574.40	3005.20	444.80	2251.80	544.61	2789.07
2019	811.31	3921.54	819.60	3824.80	597.30	2849.10	742.74	3531.81
2018	785.30	4706.84	770.40	4595.20	686.40	3535.50	747.37	4279.18
2017	587.30	5294.14	587.39	5182.59	473.64	4009.14	549.44	4828.62
2016	542.80	5836.94	413.90	5596.49	567.14	4576.28	507.95	5336.57
2015	661.70	6498.64	615.30	6211.79	621.62	5197.91	632.87	5969.44
2014	660.70	7159.34	1011.50	7223.29	628.78	5826.69	766.99	6736.44
2013	796.60	7955.94	1132.61	8355.90	745.00	6571.69	891.40	7627.84
2012	679.60	8635.54	519.52	8875.42	617.30	7188.99	605.47	8233.31
2011	740.50	9376.04	760.30	9635.72	678.00	7866.99	726.27	8959.58
2010	876.70	10252.74	619.30	10255.02	902.40	8769.39	799.47	9759.05
2009	525.50	10778.24	480.90	10735.92	525.70	9295.09	510.70	10269.75
2008	592.40	11370.64	657.40	11393.32	643.80	9938.89	631.20	10900.95
2007	621.40	11992.04	661.11	12054.43	533.50	10472.39	605.34	11506.28
2006	856.30	12848.34	695.40	12749.83	691.40	11163.79	747.70	12253.98
2005	620.98	13469.31	514.00	13263.83	439.00	11602.79	524.66	12778.64
2004	632.00	14101.31	548.90	13812.73	601.80	12204.59	594.23	13372.88
2003	713.70	14815.01	788.40	14601.13	559.30	12763.89	687.13	14060.01
2002	822.10	15637.11	623.80	15224.93	724.50	13488.39	723.47	14783.48
2001	864.10	16501.21	902.20	16127.13	794.20	14282.59	853.50	15636.98
2000	652.00	17153.21	467.70	16594.83	468.50	14751.09	529.40	16166.38
1999	543.10	17696.31	480.30	17075.13	499.13	15250.22	507.51	16673.89
1998	494.58	18190.89	229.30	17304.43	476.00	15726.22	399.96	17073.85
1997	805.30	18996.19	358.41	17662.84	586.14	16312.36	583.28	17657.13
1996	603.15	19599.34	405.13	18067.97	530.28	16842.64	512.85	18169.98
1995	560.00	20159.34	256.55	18324.52	376.15	17218.79	397.57	18567.55
1994	798.40	20957.74	374.20	18698.72	738.93	17957.72	637.18	19204.73
1993	799.90	21757.64	348.10	19046.83	563.44	18521.16	570.48	19775.21
1992	609.30	22366.94	369.18	19416.01	423.14	18944.30	467.21	20242.41
1991	682.40	23049.34	352.80	19768.81	475.15	19419.45	503.45	20745.87
1990	641.10	23690.44	446.26	20215.07	540.00	19959.45	542.45	21288.32
1989	653.30	24343.74	326.95	20542.02	444.07	20403.52	474.77	21763.09
1988	725.50	25069.24	328.85	20870.87	557.57	20961.09	537.31	22300.40
1987	630.60	25699.84	321.57	21192.44	512.40	21473.48	488.19	22788.59
1986	569.10	26268.94	261.10	21453.54	363.61	21837.09	397.94	23186.53
1985	728.30	26997.24	184.82	21638.36	910.80	22747.89	607.97	23794.50
1984	800.50	27797.74	316.32	21954.68	524.07	23271.97	546.97	24341.47
1983	483.70	28281.44	142.31	22096.99	293.16	23565.13	306.39	24647.86
1982	786.80	29068.24	230.47	22327.46	999.49	24564.62	672.25	25320.11
1981	922.90	29991.14	411.52	22738.98	744.25	25308.87	692.89	26013.00
1980	619.60	30610.74	185.18	22924.16	735.07	26043.94	513.28	26526.28
1979	600.80	31211.54	312.96	23237.12	795.70	26839.64	569.82	27096.10
1978	664.10	31875.64	315.85	23552.97	749.09	27588.73	576.35	27672.45
1977	613.10	32488.74	339.91	23892.88	485.09	28073.82	479.37	28151.82
1976	560.30	33049.04	380.34	24273.22	511.28	28585.10	483.97	28635.79
1975	721.60	33770.64	574.13	24847.35	511.32	29096.42	602.35	29238.14
1974	681.70	34452.34	415.28	25262.63	639.37	29735.79	578.78	29816.92
1973	816.80	35269.14	458.46	25721.09	968.44	30704.23	747.90	30564.82
1972	553.50	35822.64	196.71	25917.80	468.82	31173.05	406.34	30971.17
1971	659.10	36481.74	324.25	26242.05	719.48	31892.53	567.61	31538.78
1970	806.00	37287.74	285.82	26527.87	1414.91	33307.44	835.58	32374.35
1969	524.60	37812.34	266.14	26794.01	664.57	33972.01	485.10	32859.46
1968	668.20	38480.54	323.88	27117.89	539.81	34511.82	510.63	33370.09
1967	655.70	39136.24	300.69	27418.58	439.15	34950.97	465.18	33835.27
1966	597.40	39733.64	474.60	27893.18	219.85	35170.82	430.62	34265.88
1965	693.30	693.30	519.30	519.30	381.20	381.20	531.27	531.27

Figura 70

Diagrama de análisis de doble masa estación Kayra



Ya teniendo identificado los datos no homogéneos e inconsistentes determinamos las diferentes tendencias de pendientes que muestra la curva de doble masa; para la corrección de datos se hace le cálculo de cada pendiente identificada.

Tabla 42

Cálculo de las 3 pendientes identificadas

Estación Sicuani	Simbolos	Pendiente
Pendiente de los puntos no consistentes tramo 1	ma	1.23
Pendiente de los puntos no consistentes tramo 2	mo	1.16
Pendiente de los puntos consistentes		1.15

Para la corrección de los datos inconsistentes, la precipitación ajustada dependerá de la corrección de la precipitación observada (dato recolectado del SENAMHI) por la relación de la pendiente de los datos consistentes y la pendiente correspondiente de los datos no consistentes.

$$Pa = \left(\frac{ma}{mo}\right) * Po$$

Pa: Precipitación ajustada

Po: Precipitación Observada

mo: Pendiente del grafico en el tiempo que Po fue observada

ma: Pendiente del grafico al cual los registros son ajustados

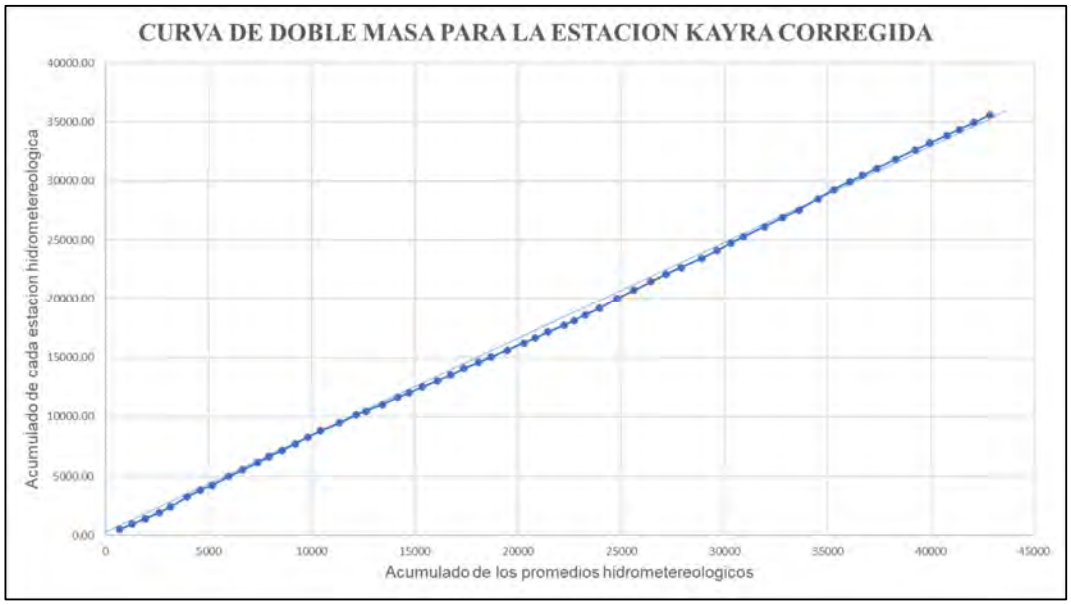
Tabla 43

Precipitación acumuladas invertidas y corregidas

ESTACIONES									
N°	Año	KAYRA		CAYCAY		PISAC		PROMEDIO	
		X P. Annual	X Ac. P. Anual	X P. Anual	X Ac. P. Anual	X Ac. P. Anual	X Ac. P. Anual	X P. Anual	X Ac. P. Anual
1	1965	693.30	693.30	519.30	519.30	381.20	381.20	531.27	531.27
2	1966	597.40	1290.70	474.60	993.90	219.85	601.05	430.62	961.88
3	1967	655.70	1946.40	300.69	1294.59	439.15	1040.20	465.18	1427.06
4	1968	668.20	2614.60	323.88	1618.47	539.81	1580.01	510.63	1937.69
5	1969	524.60	3139.20	266.14	1884.61	664.57	2244.58	485.10	2422.80
6	1970	806.00	3945.20	285.82	2170.43	1414.91	3659.49	835.58	3258.37
7	1971	659.10	4604.30	324.25	2494.68	719.48	4378.97	567.61	3825.98
8	1972	553.50	5157.80	196.71	2691.39	468.82	4847.79	406.34	4232.33
9	1973	816.80	5974.60	458.46	3149.85	968.44	5816.23	747.90	4980.23
10	1974	681.70	6656.30	415.28	3565.13	639.37	6455.60	578.78	5559.01
11	1975	721.60	7377.90	574.13	4139.26	511.32	6966.92	602.35	6161.36
12	1976	560.30	7938.20	380.34	4519.60	511.28	7478.20	483.97	6645.33
13	1977	613.10	8551.30	339.91	4859.51	485.09	7963.29	479.37	7124.70
14	1978	664.10	9215.40	315.85	5175.36	749.09	8712.38	576.35	7701.05
15	1979	600.80	9816.20	312.96	5488.32	795.70	9508.08	569.82	8270.87
16	1980	619.60	10435.80	185.18	5673.50	735.07	10243.15	513.28	8784.15
17	1981	922.90	11358.70	411.52	6085.02	744.25	10987.40	692.89	9477.04
18	1982	786.80	12145.50	230.47	6315.49	999.49	11986.89	672.25	10149.29
19	1983	483.70	12629.20	142.31	6457.80	293.16	12280.05	306.39	10455.68
20	1984	800.50	13429.70	316.32	6774.12	524.07	12804.13	546.97	11002.65
21	1985	728.30	14158.00	184.82	6958.94	910.80	13714.93	607.97	11610.62
22	1986	569.10	14727.10	261.10	7220.04	363.61	14078.54	397.94	12008.56
23	1987	630.60	15357.70	321.57	7541.61	512.40	14590.94	488.19	12496.75
24	1988	725.50	16083.20	328.85	7870.46	557.57	15148.51	537.31	13034.06
25	1989	653.30	16736.50	326.95	8197.41	444.07	15592.58	474.77	13508.83
26	1990	641.10	17377.60	446.26	8643.67	540.00	16132.58	542.45	14051.28
27	1991	682.40	18060.00	352.80	8996.48	475.15	16607.73	503.45	14554.73
28	1992	609.30	18669.30	369.18	9365.66	423.14	17030.87	467.21	15021.94
29	1993	799.90	19469.20	348.10	9713.76	563.44	17594.31	570.48	15592.42
30	1994	798.40	20267.60	374.20	10087.96	738.93	18333.24	637.18	16229.60
31	1995	560.00	20827.60	256.55	10344.51	376.15	18709.39	397.57	16627.17
32	1996	603.15	21430.75	405.13	10749.64	530.28	19239.66	512.85	17140.02
33	1997	805.30	22236.05	358.41	11108.05	586.14	19825.80	583.28	17723.30
34	1998	494.58	22730.63	229.30	11337.35	476.00	20301.80	399.96	18123.26
35	1999	543.10	23273.73	480.30	11817.65	499.13	20800.93	507.51	18630.77
36	2000	652.00	23925.73	467.70	12285.35	468.50	21269.43	529.40	19160.17
37	2001	864.10	24789.83	902.20	13187.55	794.20	22063.63	853.50	20013.67
38	2002	822.10	25611.93	623.80	13811.35	724.50	22788.13	723.47	20737.14
39	2003	830.36	26442.29	788.40	14599.75	559.30	23347.43	726.02	21463.16
40	2004	735.31	27177.60	548.90	15148.65	601.80	23949.23	628.67	22091.83
41	2005	722.48	27900.09	514.00	15662.65	439.00	24388.23	558.49	22650.32
42	2006	996.27	28896.36	695.40	16358.05	691.40	25079.63	794.36	23444.68
43	2007	722.98	29619.33	661.11	17019.16	533.50	25613.13	639.20	24083.88
44	2008	689.24	30308.57	657.40	17676.56	643.80	26256.93	663.48	24747.36
45	2009	611.40	30919.97	480.90	18157.46	525.70	26782.63	539.33	25286.69
46	2010	1020.01	31939.98	619.30	18776.76	902.40	27685.03	847.24	26133.92
47	2011	861.54	32801.52	760.30	19537.06	678.00	28363.03	766.61	26900.54
48	2012	790.69	33592.21	519.52	20056.58	617.30	28980.33	642.50	27543.04
49	2013	926.81	34519.03	1132.61	21189.19	745.00	29725.33	934.81	28477.85
50	2014	768.70	35287.73	1011.50	22200.69	628.78	30354.12	802.99	29280.84
51	2015	769.86	36057.59	615.30	22815.99	621.62	30975.74	668.93	29949.77
52	2016	631.53	36689.12	413.90	23229.89	567.14	31542.88	537.52	30487.30
53	2017	683.30	37372.42	587.39	23817.28	473.64	32016.52	581.44	31068.74
54	2018	913.67	38286.09	770.40	24587.68	686.40	32702.92	790.16	31858.90
55	2019	943.93	39230.02	819.60	25407.28	597.30	33300.22	786.94	32645.84
56	2020	715.09	39945.11	574.40	25981.68	444.80	33745.02	578.10	33223.94
57	2021	816.98	40762.09	707.10	26688.78	433.70	34178.72	652.59	33876.53
58	2022	618.38	41380.47	536.30	27225.08	346.60	34525.32	500.43	34376.96
59	2023	712.62	42093.09	609.30	27834.38	447.90	34973.22	589.94	34966.90
60	2024	755.55	42848.65	578.10	28412.48	578.80	35552.02	637.48	35604.38

Figura 71

Diagrama de análisis de doble masa estación Kayra



Para determinar la precipitación media mensual de la cuenca Joctopuquio se trabajó con los datos ya corregidos de la estación Kayra donde determinamos la precipitación media anual de la cuenca (714.14 mm/año), como precipitaciones mínima y máxima es de 483.70 mm/año y 1020.01 mm/año respectivamente.

3.3.2 TEMPERATURA

La temperatura es un factor clave para determinar la escorrentía y la evapotranspiración. Para calcular la temperatura mínima, máxima y media mensual de la cuenca Joctopuquio, se utilizaron los datos proporcionados por SENAMHI de la estación de Kayra.

Tabla 44

Temperatura media mensual

TEMPERATURA PROMEDIO ANNUAL													
KAYRA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
TEMPERATURA MEDIA	13.04	12.80	12.41	11.28	9.71	8.56	8.39	9.56	11.34	12.73	13.20	13.28	11.36
TEMPERATURA ALTA	22.67	22.49	22.51	22.70	22.72	22.46	22.50	23.52	24.11	24.72	24.42	23.82	23.22
TEMPERATURA BAJA	3.40	3.11	2.31	-0.14	-3.29	-5.34	-5.72	-4.40	-1.42	0.73	1.97	2.74	-0.50

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024)

Figura 72

Diagrama de Temperatura

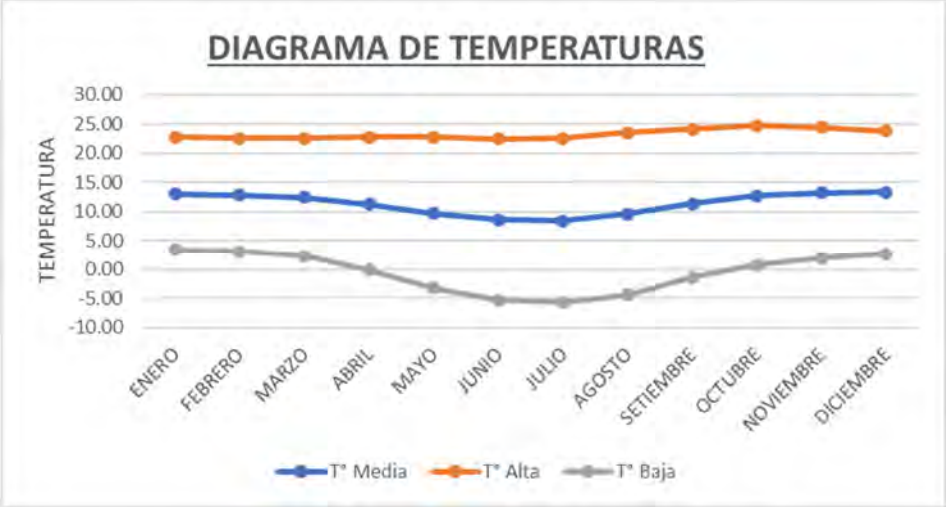
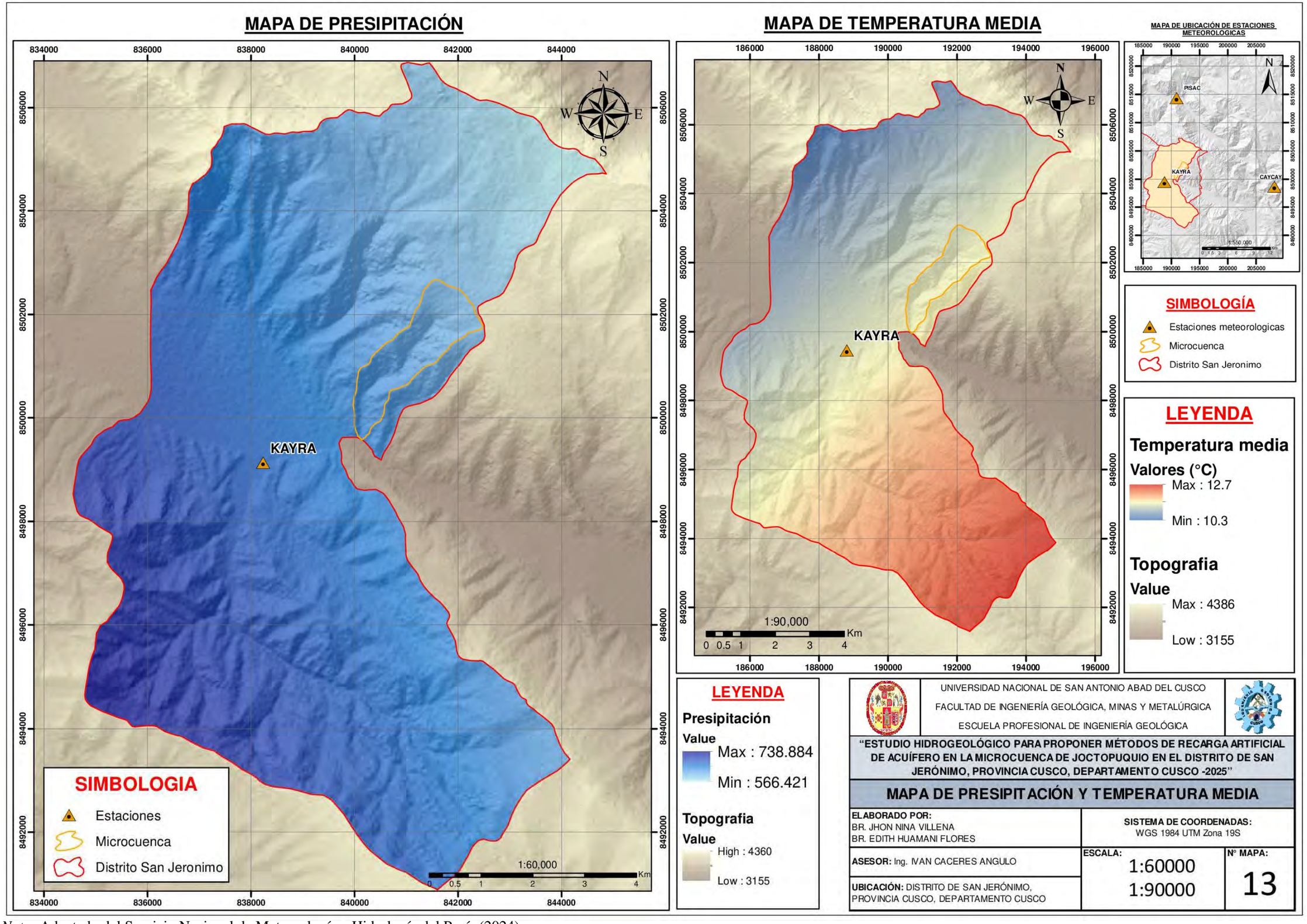


Figura 73 *Mapa de Precipitación y temperatura media de la microcuenca Joctopuquio.*



Nota: Adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024)

3.3.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN (EVT)

Es el proceso mediante el cual el agua, en estado sólido o líquido, se transfiere a la atmósfera a través de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Estos procesos están influenciados por factores físicos, como la granulometría, porosidad, litología, cobertura del suelo, temperatura, viento, presión atmosférica e intensidad de luz, así como por factores biológicos, como la profundidad de las raíces. La cantidad de agua transferida se mide en milímetros durante un período de tiempo determinado.

Evapotranspiración potencial (ETP)

Thornthwaite introdujo el término evapotranspiración potencial (ETP) para expresar "la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas". (Ordoñez, 2011).

El cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) sin corrección se realizó utilizando el método de Thornthwaite, empleando los parámetros de temperatura media mensual y el índice de calor mensual. Para ajustar la ETP, se aplicaron correcciones considerando factores como la duración astronómica del día, las horas de sol, el número de días en el mes y la latitud de la ubicación.

$$ETP(s/c) = 16(10 * t°mI)a$$

I = (T / 5) elevado a 1,514 (I representa el índice de calor anual),

T = Temperatura media mensual en C°,

a = función del índice de calor anual (I)

a = 0,000000675× I3 - 0,0000771× I3 + 0,01792 × I + 0,49239,

L = factor de corrección del número de días del mes (D) y duración astronómica del día (N) horas de sol y, Li = D/30 x N/12 (Tablas de L mensuales por latitud). Para la estación Kayra: Latitud sur: 13° 33' 24.29" o latitud sur: 13.65

Evapotranspiración real (ETR)

La evapotranspiración está influida por la cantidad de humedad disponible en la superficie que se evapora. La tasa de evaporación disminuye a medida que el suelo se seca, situándose por debajo del nivel que suele mantener en un suelo bien hidratado. El término "evapotranspiración real" se refiere a esta evapotranspiración, que depende del contenido de humedad del suelo. (Ordoñez, 2011b). La cuantificación de la evapotranspiración potencial (ETP) se realizó con el método de Thornthwaite, donde:

$$ETP = ETPs/c(\frac{N}{12})(\frac{d}{30})$$

ETP (s/c): Evapotranspiración sin corregir

N: Número máximo de horas de sol

D: Número de días al mes

Tabla 45

Evapotranspiración potencial de la microcuenca de Joctopuquio

Mes	T° media mensual	Índice de calor mensual	ETP (sin corregir)	N	f=N/12	N° días del mes	D/30	ETP
Enero	13.04	4.27	59.49	12.81	1.07	31	1.03	65.64
Febrero	12.80	4.15	58.24	12.54	1.05	28	0.93	56.82
Marzo	12.41	3.96	56.20	12.17	1.01	31	1.03	58.90
Abril	11.28	3.43	50.32	11.80	0.98	30	1.00	49.48
Mayo	9.71	2.73	42.30	11.46	0.95	31	1.03	41.73
Junio	8.56	2.26	36.55	11.29	0.94	30	1.00	34.37
Julio	8.39	2.19	35.70	11.39	0.95	31	1.03	35.00
Agosto	9.56	2.67	41.54	11.66	0.97	31	1.03	41.70
Setiembre	11.34	3.46	50.63	12.00	1.00	30	1.00	50.63
Octubre	12.73	4.11	57.86	12.44	1.04	31	1.03	61.99
Noviembre	13.20	4.35	60.34	12.74	1.06	30	1.00	64.07
Diciembre	13.28	4.39	60.78	12.91	1.08	31	1.03	67.59
Índice de calor anual (I)		41.96	**a**	1.16	**ETP (mm/año)**			627.93

3.3.4 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Se refiere a la cinemática del agua que discurre sobre la superficie terrestre donde el agua no pudo ser absorbida debido a la saturación y las propiedades del suelo (permeabilidad, porosidad), posterior a una precipitación pluvial. Para estimar la escorrentía superficial media anual se realizó mediante los métodos indirectos propuesto por Justin (1914), donde toma en cuenta parámetros de precipitación media anual de la cuenca, temperatura media anual y pendiente de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento de cada material.

$$ES = \frac{K * S^{0.157} * P^2}{160 + 9T}$$

Donde:

K: coeficiente de escurrimiento adimensional

S: Pendiente de la cuenca

T: Temperatura media anual(°C)

P: Precipitación media anual(mm)

Para el cálculo de la escorrentía media anual de la cuenca se reemplazó los valores:

$$ES = \frac{0.10 * 0.236^{0.157} * 714.14^2}{160 + 9 * 12.67}$$

$$ES = 148.36$$

$$ES = 20.8\%$$

3.3.5 INFILTRACIÓN

Se refiere al proceso mediante el cual el agua pluvial penetra sobre el subsuelo, este fenómeno depende de las características del terreno (topografía), intensidad de la precipitación y de las propiedades físico mecánicas del suelo (Tipo de suelo, cobertura vegetal, porosidad).

Para el cálculo de la infiltración se realizó mediante la ecuación del principio de conservación de masa; es decir que la entrada de agua al sistema es igual al total de salida de agua del sistema.

$$ES = ETR + ES + I$$

Donde:

P: Precipitación(mm)

ES: Escorrentía superficial(mm)

I: Infiltración(mm)

Despejando I:

$$I = P - ETR - ES$$

$$I = P - ETR - ES$$

I = 714.14– 502.34 – 148.36

I = 73.44 mm/año (cantidad de agua que se infiltra)

I = 8.88%

3.4 BALANCE HIDROLÓGICO

Se refiere a la entrada y salida de agua en un sistema dado (cuenca hidrográfica), este balance ayuda a comprender como se distribuye el agua dentro del sistema. Con los datos obtenidos y procesados se realizó el balance hídrico teniendo 132.45 mm de excedente hídrico en la época de lluvias y un déficit de 134.63 mm en la época de estiaje.

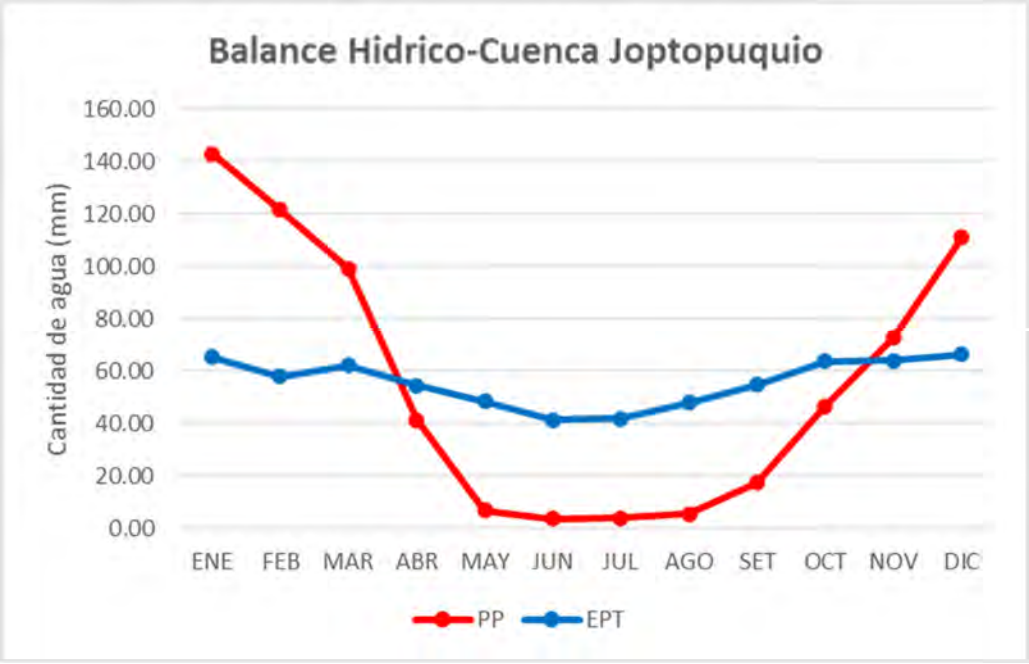
Tabla 46

Balance Hídrico de la microcuenca de Joctopuquio

BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PP	143.17	121.72	99.37	41.34	6.88	3.66	3.91	5.70	17.47	46.76	72.77	111.12	714.14
EPT	65.24	57.86	62.11	54.64	48.61	41.46	41.98	47.85	54.94	63.70	63.92	66.47	668.79
CAMBIO ALM	46.50	0	0	-13.31	-41.72	-37.80	0	0	0	0	8.85	44.65	
ALMACEN	100	100	100	86.69	44.97	7.17	0	0	0	0	8.85	53.50	
ETR	65.24	57.86	62.11	54.64	48.61	41.46	8.39	9.56	11.34	12.73	63.92	66.47	502.34
DEFICIT	0	0	0	0	0	0	38.08	42.15	37.47	16.93	0	0	134.63
EXESO	31.33	63.86	37.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132.45
DIAS DEL MES	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	

Figura 74

Diagrama Balance Hídrico de la microcuenca de Joctopuquio



CAPITULO IV: PROSPECCIÓN GEOFISICA

La prospección geofísica son las técnicas físicas y matemáticas, aplicadas al estudio del subsuelo mediante métodos geofísicos, donde permite determinar la estructura del subsuelo a través de los cambios de resistividad o conductividad eléctrica de los materiales atreves de la propagación de ondas.

En nuestra zona de estudio se realizó la prospección geofísica con la finalidad de determinar las estructuras geológicas que controlan la surgencia de las aguas subterráneas, ya sean por fracturas, fallas locales o regionales mediante el método de tomografía eléctrica.

4.1 METODO GEOFISICO

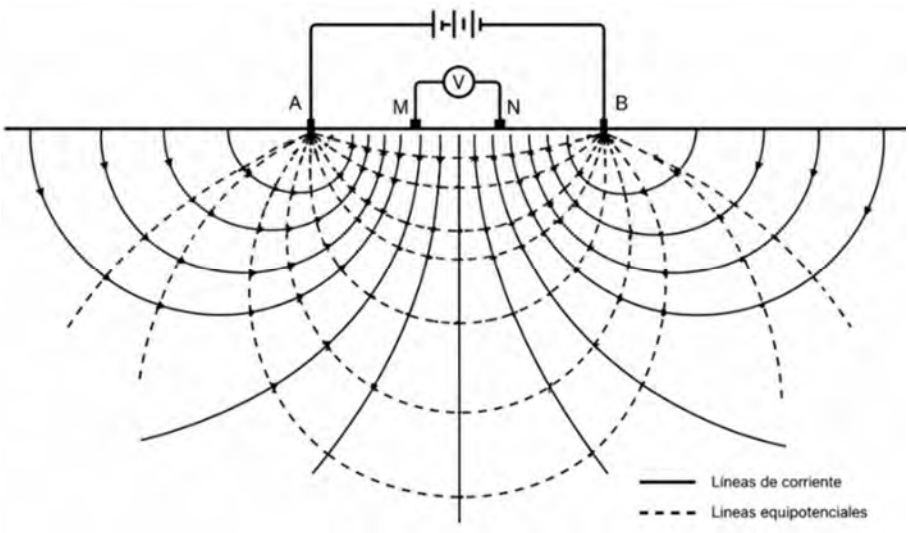
TOMOGRAFIA ELECTRICA 2D

La tomografía eléctrica o como también se le llama tomografía de resistividad eléctrica (ERT), es un método de prospección geofísico, donde se obtiene la resistividad eléctrica del subsuelo mediante la inducción de corriente eléctrica con una intensidad conocida atreves de múltiples electrodos, separados equidistantemente, a lo largo del perfil donde se requiera realizar el estudio.

Es muy importante el uso de un programa que permita realizar la conversión de la resistividad aparente tomadas en campo a valores de la resistividad real, para poder ser analizados y plasmados en una sección 2D.

Figura 75

Diagrama Balance Hídrico de la microcuenca de Joctopuquio



Fuente: (Sánchez, 2015)

4.2 METODOLOGIA DE ESTUDIO GEOFISICO

La tomografía eléctrica se realizó con el equipo multi electrodo DUK-2, utilizando la configuración Werner-Schlumberger, esta configuración es adecuado ya que presenta un equilibrio entre la resolución vertical y horizontal, y una sensibilidad para la identificación de cambios en las propiedades del subsuelo. Este método nos ayuda a diferenciar desde materiales arcillosos o saturados de agua que son de baja resistividad hasta zonas con alta resistividad como rocas compactas y secas.

Este método es ideal para estudios de detección de acuíferos, dado que las zonas saturadas presentan resistividades bajas.

Figura 76

Rango típico de resistividad de materiales

Material	Rango típico de resistividad (ohm·m)
Aguas subterráneas (dulces)	5 – 30
Gravas y arenas saturadas	10 – 100
Gravas secas	100 – 500
Arcillas	1 – 20
Roca fracturada	50 – 500
Roca maciza	> 800

Fuente: (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990)

4.3 RECONOCIMIENTO DEL AREA DE ESTUDIO

Para el estudio geofísico se tuvo en consideración, los factores que controlan la surgencia de las aguas subterráneas y a que estructuras geológicas están sujetas, ya sean por fallas o fracturas. Por lo que se requiere tener una mayor profundidad de investigación para un correcto análisis en el modelo 2D.

En la zona de estudio se tomó el punto más cercano a la surgencia del agua subterránea para poder llegar a una mayor profundidad y realizar un mejor análisis.

Figura 77

Ubicación de línea Tomográfica en mi microcuenca de Joctopuquio



4.4 PROCEDIEMINTO EN CAMPO

El ensayo se inició con el cableado muy próximo al área de interés, por lo que para la línea L-1 tuvo una longitud de 300 metros conectados con 60 electrodos, para la línea L-2 una longitud de 90 metros conectados con 30 electrodos cada una dividida equidistantemente con ayuda de la cinta métrica.

4.4.1 ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Para la adquisición de datos de resistividad del subsuelo se inyecto energía eléctrica a través de los electrodos separados equidistantemente, conociendo el inicio y el final de cada línea de tomografía eléctrica para la elaboración de cada sección y su respectivo análisis. Todos estos datos de resistividad aparente son recepcionadas y almacenadas por el resistivimetro. Se hace uso de un software para la conversión de la resistividad aparente en la resistividad real de cada material, esto nos ayuda en la elaboración e interpretación de las secciones de tomografía eléctrica.

Figura 78

Procedimiento para el ensayo de tomografía eléctrica.



Nota: A. Se realizo la instalación de los equipos para B. Seguidamente con una cinta métrica para realizar el cableado C. para colocar los electrodos para la toma de datos

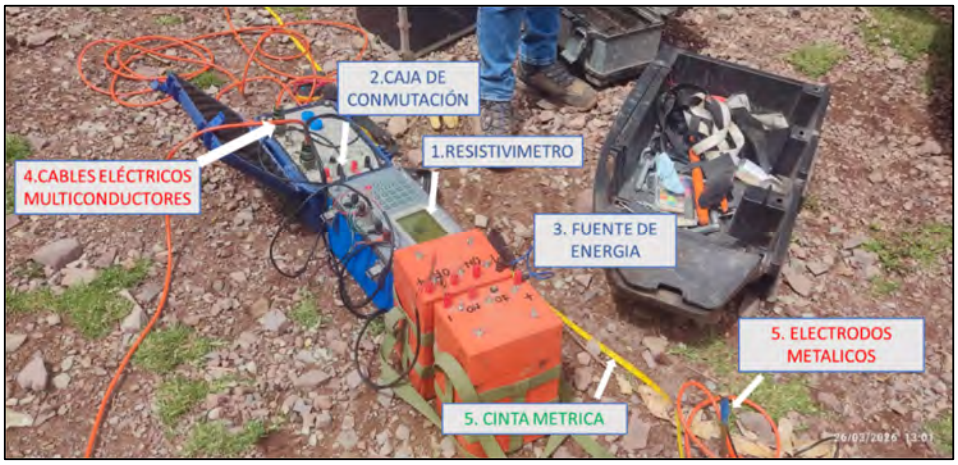
4.5 EQUIPOS Y MATERIALES

Para el ensayo geofísico se utilizaron los siguientes equipos:

- Resistivimetro: Se encarga de generar y controlar la corriente eléctrica y calcula la resistividad aparente, registra y almacena los datos.
- Caja de conmutación: Encargado de distribuir la corriente eléctrica hacia los electrodos.
- Fuente de energía: Proporciona energía para la inyección de corriente eléctrica.
- Cables eléctricos multiconductores: Su función es conectar el equipo con los electrodos y transmitir corriente eléctrica.
- Electrodos metálicos: Su función es introducir la corriente eléctrica al terreno y medir la diferencia de potencial son de acero inoxidable y son de 25 a 30 cm de longitud.
- Cinta métrica

Figura 79

Ubicación de línea Tomográfica en mi microcuenca de Joctopuquio

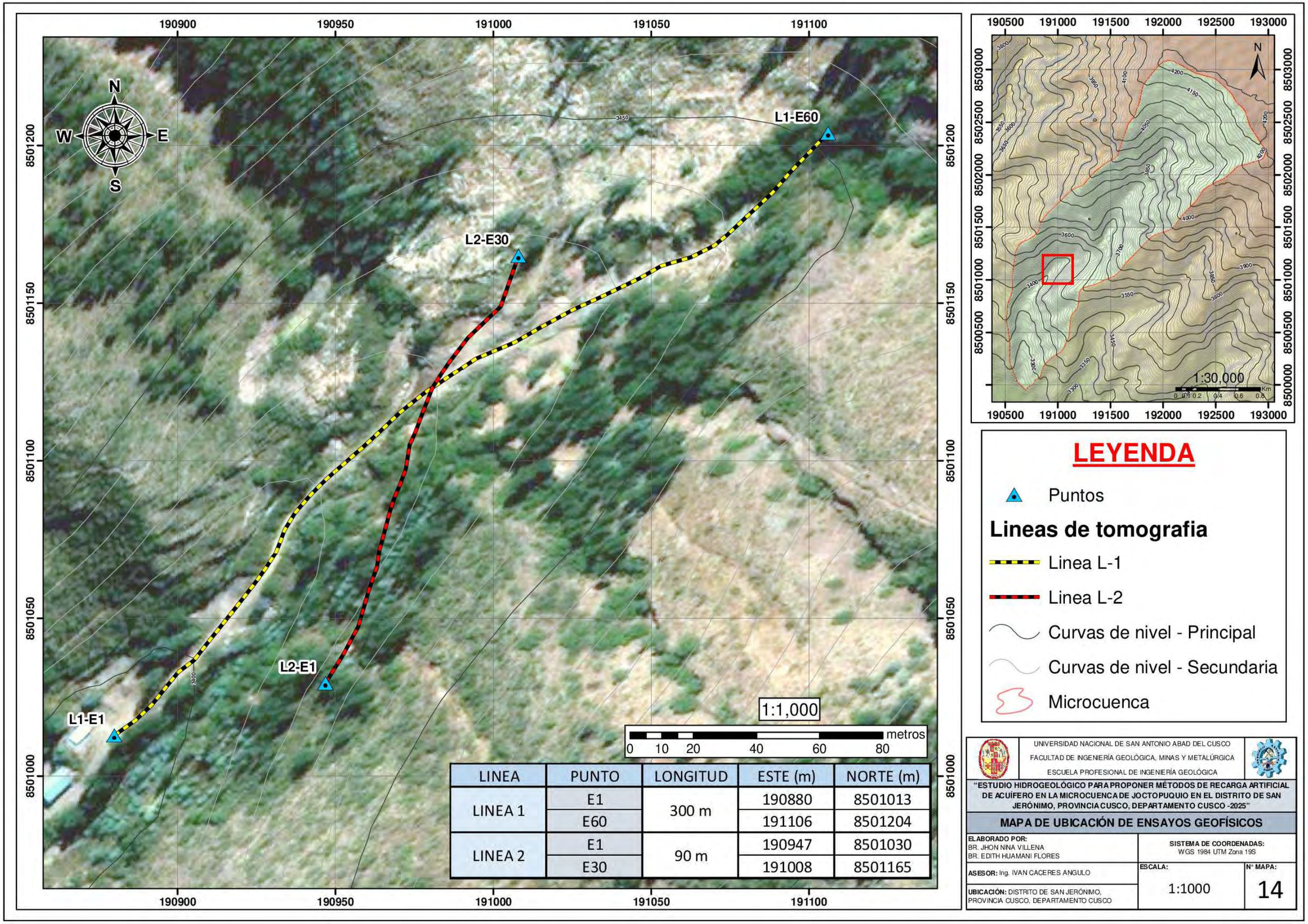


4.6 UBICACIÓN DE LINEAS DE TOMOGRAFIA ELECTRICA

Las líneas tomográficas están ubicadas estratégicamente cubriendo el terreno donde se desea conocer las características del sub suelo, tal y como se muestra en el Mapa 14.

- La línea 1 y 2 tienen una dirección de SW-NE paralelo a la dirección de la microcuenca de estudio.

Figura 80 *Mapa de Ubicación de líneas de tomografía eléctrica*



LINEA	PUNTO	LONGITUD	ESTE (m)	NORTE (m)
LINEA 1	E1	300 m	190880	8501013
	E60		191106	8501204
LINEA 2	E1	90 m	190947	8501030
	E30		191008	8501165

Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

4.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE SECCIONES DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

4.7.1 LINEA TOMOGRAFIA ELECTRICA L-1

Esta línea tomográfica tiene una longitud de 300 metros, donde se obtuvo datos de resistividad entre 85 y 256 Ω·m llegando a una profundidad de 80 metros, lo que nos permitirá realizar un análisis a profundidad y conocer los medios por lo cual afloran las aguas subterráneas.

RESISTIVIDAD BAJA (85 – 120 Ω·m)

Son cuerpos de baja resistividad, pertenecientes a rocas sedimentarias que están muy fracturados, estos valores bajos se relacionan por posibles alteraciones y presencia de humedad en las discontinuidades.

Estas zonas son de interés para nuestro estudio, debido a que las fracturas abiertas o interconectadas puedan permitir la circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas.

RESISTIVIDAD MEDIA (120 – 210 Ω·m)

Son cuerpos de resistividad moderada, corresponden a rocas sedimentarias moderadamente fracturadas, con grado de alteración menor al del anterior.

Este puede funcionar como un medio de recarga hacia sectores más fracturados, esta zona presenta un potencial hídrico medio ya que depende mucho de la conectividad de las fracturas.

RESISITIVIDAD ALTA (210 – 256 Ω·m)

Estos resultados de alta resistividad corresponden a cuerpos muy compactos o con escasa presencia de fractura, estas áreas son de bajo potencia hídrica ya que no presenta conectividad entre sus discontinuidades.

INTERPRETACIÓN HIDROGEOLOGICA

La sección de tomografía de la línea L-1 presenta un macizo rocoso sedimentario fracturado, está constituido por areniscas con intercalación de lutitas. Los cambios en la resistividad se deben principalmente al grado de fracturamiento, alteración y saturación de las discontinuidades.

Los valores de 85 y 120 Ω·m pertenecen a zonas muy fracturadas y húmedas, y tienen un buen potencial hídrico. Sin embargo, los valores mayores a 210 Ω·m nos indican un macizo rocoso más competente, y de menor interés hidrogeológico.

Figura 81

Sección tomográfica de resistividad de la línea L1.

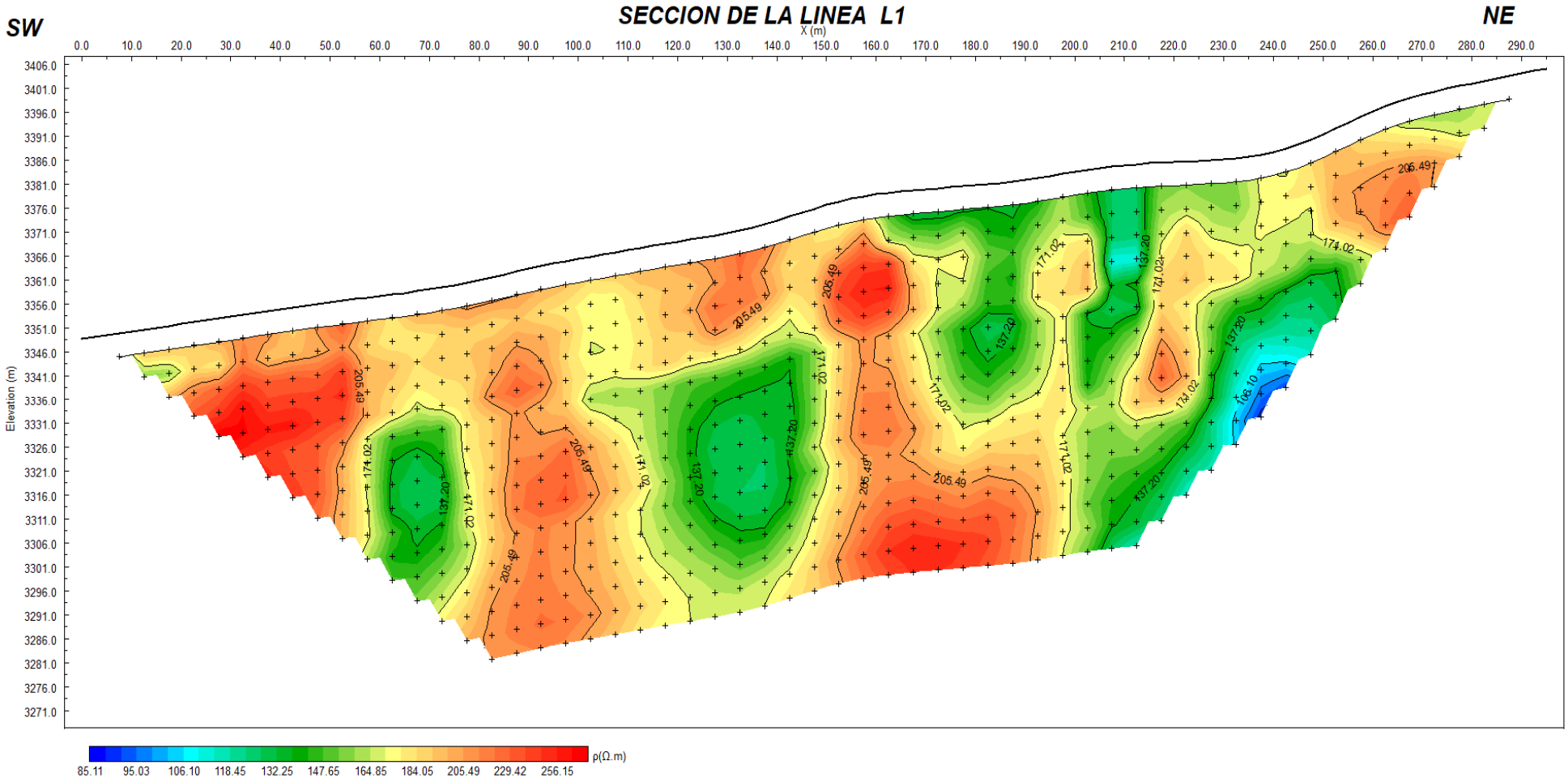
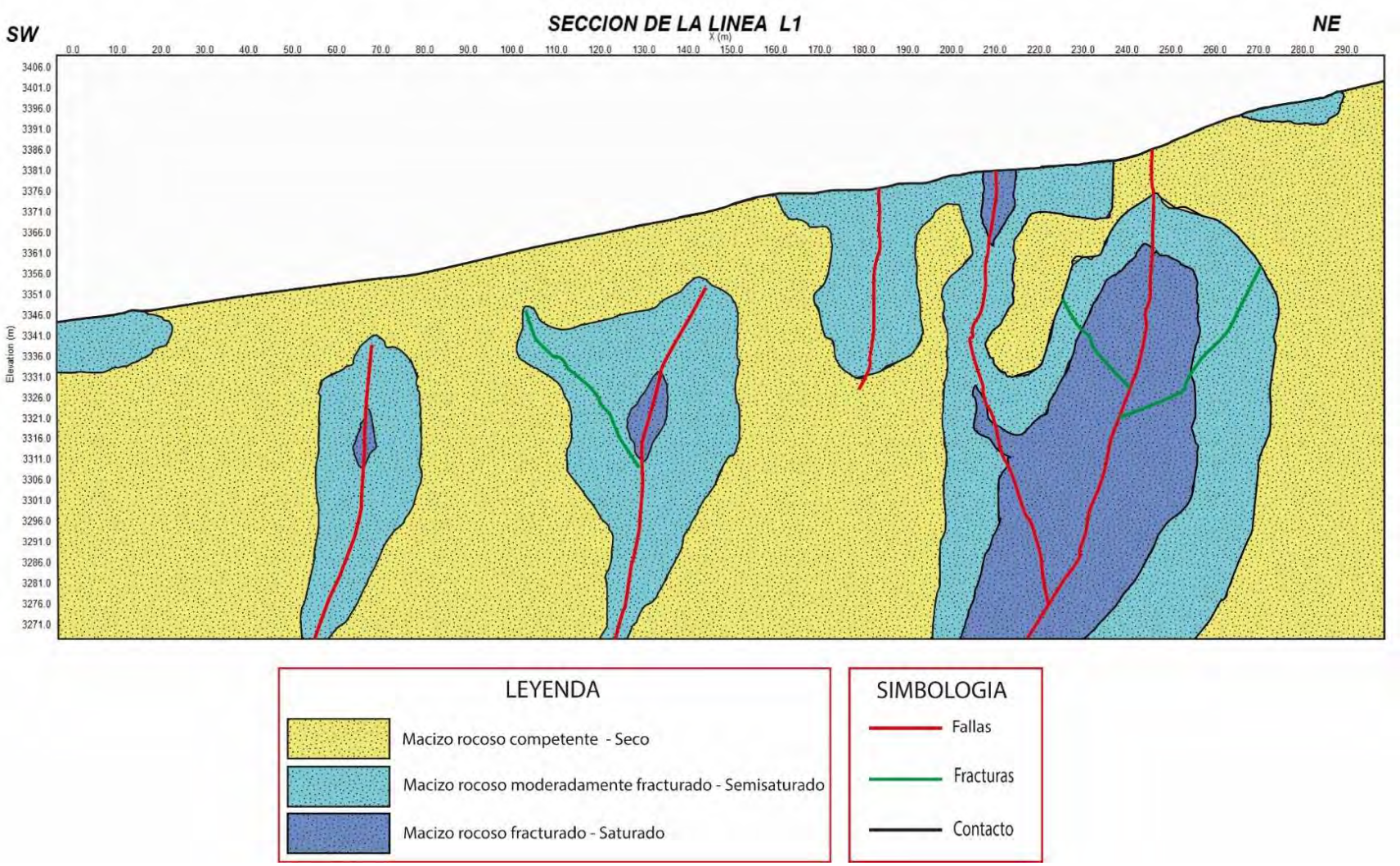


Figura 82

Sección tomográfica de resistividad de la línea L1.



4.7.2 LINEA TOMOGRAFIA ELECTRICA L-2

Esta línea tiene una longitud de 90 metros, donde se obtuvo datos de resistividad entre 58 Ω·m y 308 Ω·m llegando a una profundidad de 70 metros.

RESISTIVIDAD BAJA (58 – 100 Ω·m)

Estos valores de resistividad baja se observan entre las progresivas 5 a 35 metros, que corresponde a areniscas con intercalación de lutitas, esta área representa a zonas con alto grado de fracturamiento y con presencia de humedad.

RESISTIVIDAD MEDIA (100 – 230 Ω·m)

Esta representa una zona de transición entre los materiales húmedos superficiales y los cuerpos más resistivos profundos. Este cambio de resistividad corresponde a una zona de transición litológica de cobertura superficial y roca fracturada, donde indica condiciones de saturación moderada con posible circulación de agua a través de discontinuidades (planos de estratificación o zonas de contacto).

RESISTIVIDAD ALTA (230 – 308 Ω·m)

Estas áreas corresponden a areniscas con intercalación de lutitas competentes con bajo grado de fracturamiento y humedad. Es de bajo interés hidrogeológico debido a que no presenta mucha conectividad entre sus fracturas.

INTERPRETACIÓN HIDROGEOLOGICA

Los lineamientos estructúrales encontrados en la sección L-2 corresponden a zonas de debilidad relacionados a planos de estratificación, en la parte central existe un mayor grado de fracturamiento vinculadas a al sistema de fallamiento regional (Falla Tambomachay).

Figura 83

Sección tomográfica de resistividad de la línea L2.

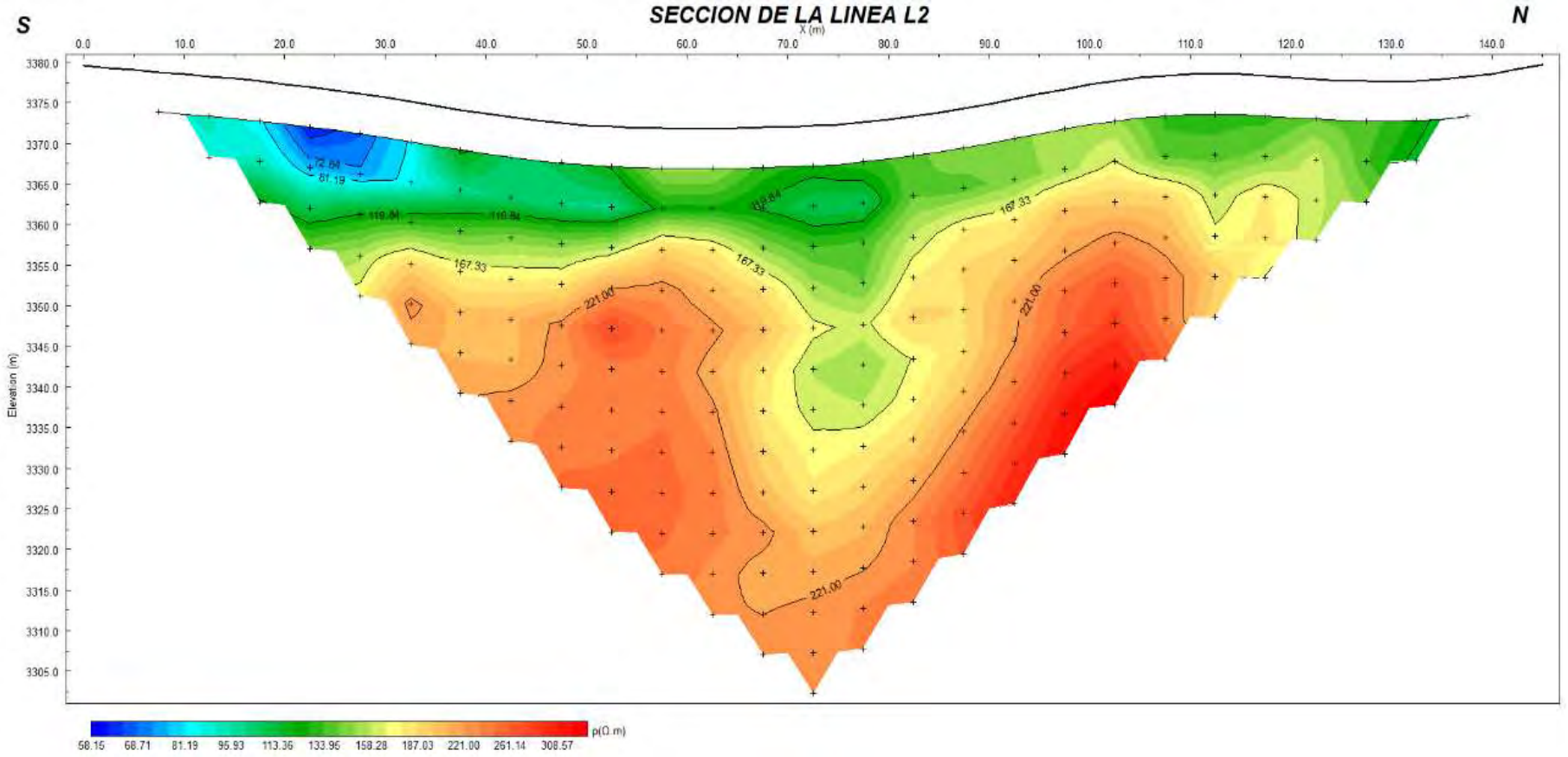
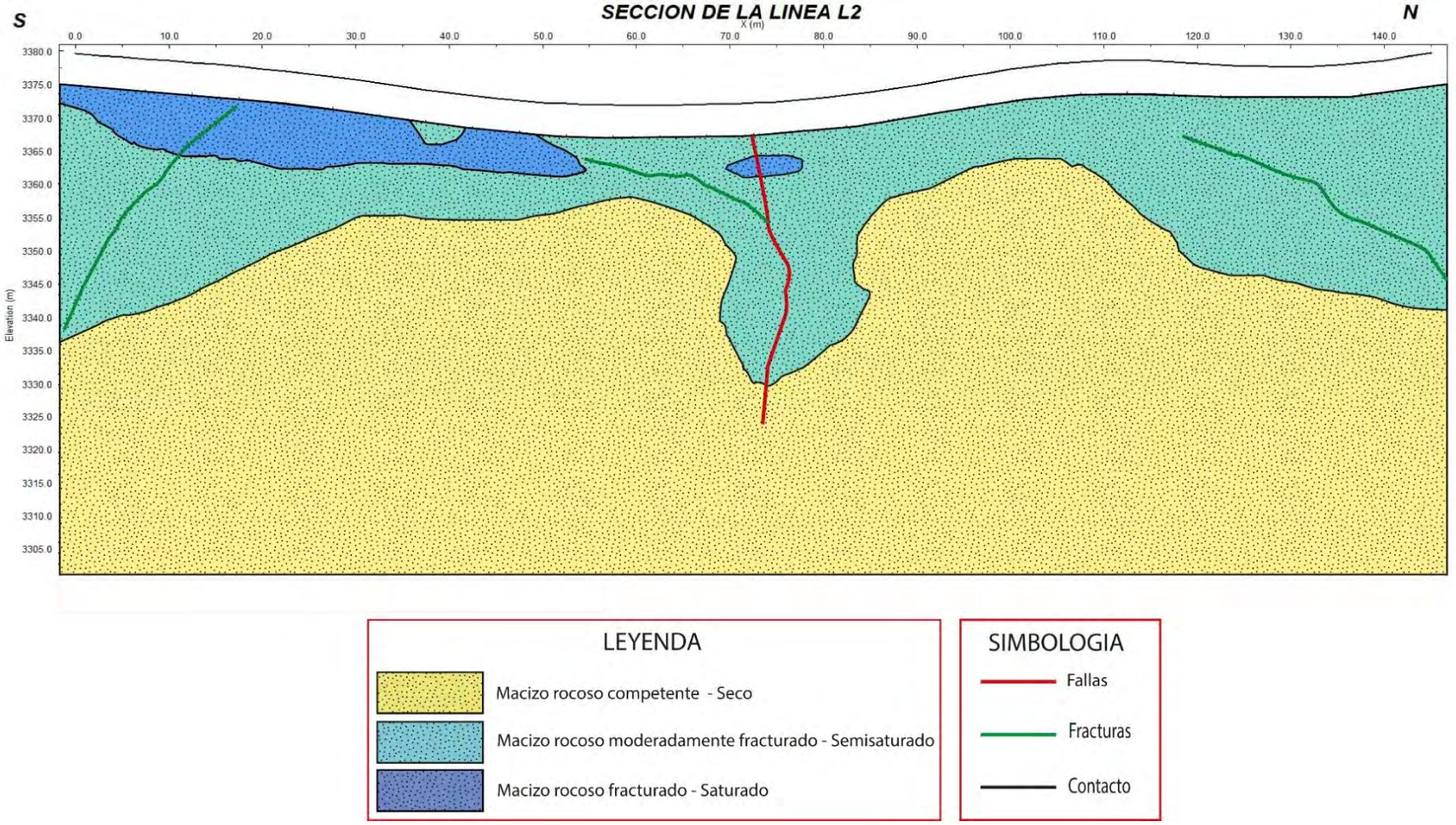


Figura 84

Sección tomográfica de resistividad de la línea L2.



CAPITULO V: HIDROGEOLOGIA

La hidrogeología es una disciplina que integra diversos campos del conocimiento, y se ve influenciada por factores como la litología, las estructuras geológicas y la composición química de suelos y rocas. Esta ciencia nos proporciona información sobre el comportamiento hidráulico, físico y mecánico de las aguas subterráneas, permitiéndonos además estimar los volúmenes de agua almacenados en los acuíferos.

En este capítulo se realizará la caracterización y clasificación de los acuíferos, se debe tener en cuenta ciertos parámetros hidrogeológicos fundamentales como la permeabilidad, porosidad, transmisividad y coeficientes de almacenamiento, estos parámetros nos permite predecir el funcionamiento del acuífero frente a unas determinadas acciones exteriores.

5.1 INVENTARIO DE MANANTES

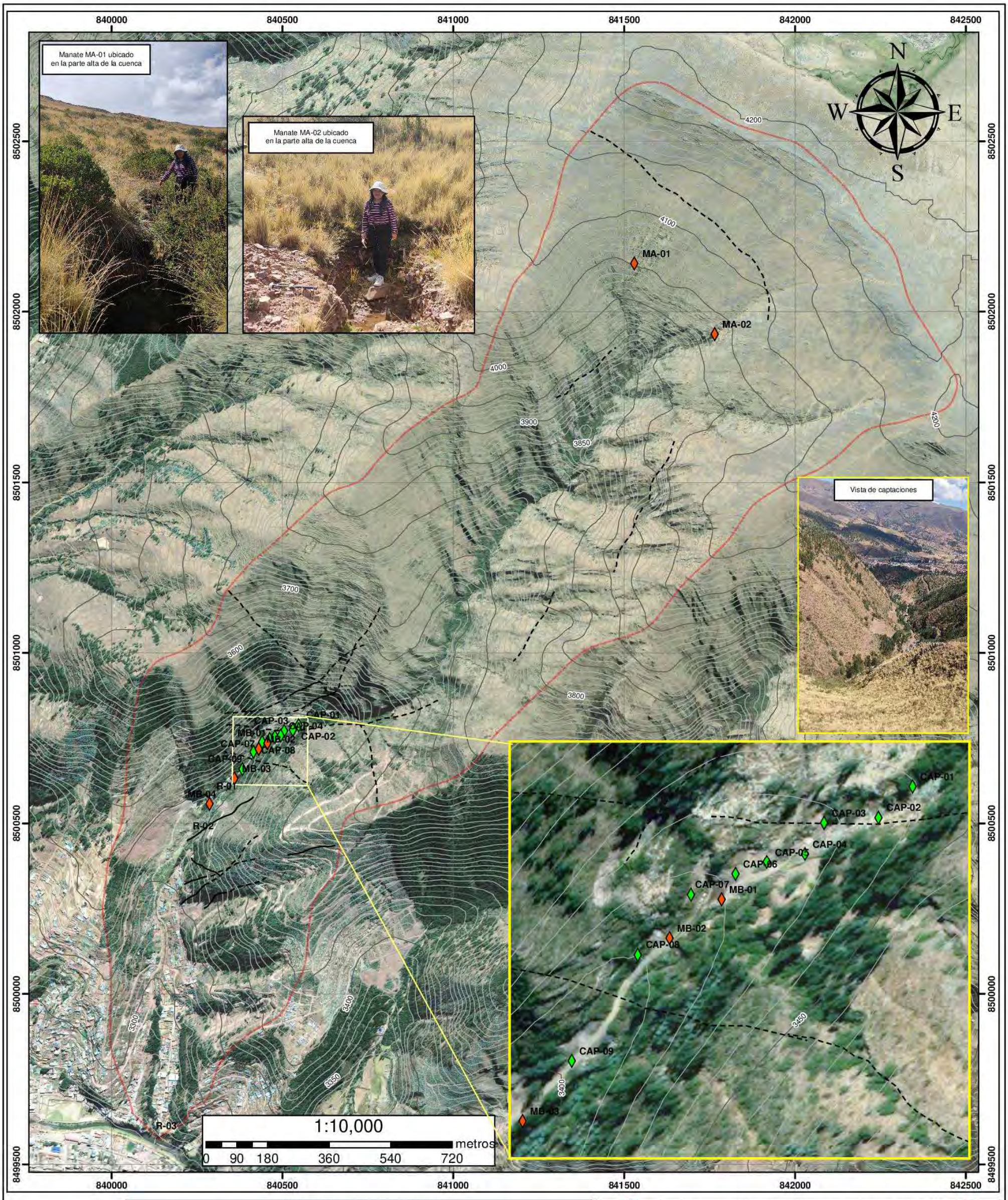
Se ha realizado el registro de manantes que se encuentran distribuidos en el área de estudio. Donde se hizo el registro de 15 aforos de agua de los cuales ,10 fuentes de agua son permanentes y 5 fuentes de agua son temporales según el régimen de flujo.

Tabla 47

Inventario de fuentes de agua en la microcuenca de Joctopuquio.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA								
N°	Fecha	Codigo	Tipo de Mantante	Regimen de flujo	Uso	Coordenadas		Caudal (lt/s)
						X	Y	
1	Febrero / 2026	CAP-01	Captación	Temporal	Consumo	191071	8501177	0.045 L/s
2	Febrero / 2026	CAP-02	Captación	Temporal	Consumo	191055	8501162	0.046 L/s
3	Febrero / 2026	CAP-03	Captación	Permanente	Consumo	191029	8501159	0.313 L/s
4	Febrero / 2026	CAP-04	Captación	Temporal	Consumo	191020	8501144	0.038 L/s
5	Febrero / 2026	CAP-05	Captación	Permanente	Consumo	191002	8501140	0.372 L/s
6	Febrero / 2026	CAP-06	Captación	Permanente	Consumo	190987	8501134	1.067 L/s
7	Febrero / 2026	CAP-07	Captación	Permanente	Consumo	190966	8501124	0.786 L/s
8	Febrero / 2026	CAP-08	Captación	Permanente	Consumo	190941	8501095	1.133 L/s
9	Febrero / 2026	CAP-09	Captación	Permanente	Consumo	190910	8501044	0.758 L/s
10	Febrero / 2026	MB-01	Manante	Permanente	Riego	190981	8501122	0.016 L/s
11	Febrero / 2026	MB-02	Manante	Permanente	Riego	190956	8501103	0.603 L/s
12	Febrero / 2026	MB-03	Manante	Permanente	Riego	190887	8501015	0.062 L/s
13	Febrero / 2026	MB-04	Manante	Permanente	Riego	190817	8500939	0.085 L/s
14	Febrero / 2026	MA-01	Manante	Temporal	Riego	192020	8502554	0.004 L/s
15	Febrero / 2026	MA-02	Manante	Temporal	Riego	192260	8502351	0.003 L/s

Figura 85 *Mapa de Ubicación de manantes de la microcuenca Joctopuquio.*



INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA								
N°	Fecha	Codigo	Tipo de Mantante	Regimen de flujo	Uso	Coordenadas X	Coordenadas Y	Caudal (lt/s)
1	Febrero / 2026	CAP-01	Captación	Temporal	Consumo	191071	8501177	0.045 L/s
2	Febrero / 2026	CAP-02	Captación	Temporal	Consumo	191055	8501162	0.046 L/s
3	Febrero / 2026	CAP-03	Captación	Permanente	Consumo	191029	8501159	0.313 L/s
4	Febrero / 2026	CAP-04	Captación	Temporal	Consumo	191020	8501144	0.038 L/s
5	Febrero / 2026	CAP-05	Captación	Permanente	Consumo	191002	8501140	0.372 L/s
6	Febrero / 2026	CAP-06	Captación	Permanente	Consumo	190987	8501134	1.067 L/s
7	Febrero / 2026	CAP-07	Captación	Permanente	Consumo	190966	8501124	0.786 L/s
8	Febrero / 2026	CAP-08	Captación	Permanente	Consumo	190941	8501095	1.133 L/s
9	Febrero / 2026	CAP-09	Captación	Permanente	Consumo	190910	8501044	0.758 L/s
10	Febrero / 2026	MB-01	Manante	Permanente	Riego	190981	8501122	0.016 L/s
11	Febrero / 2026	MB-02	Manante	Permanente	Riego	190956	8501103	0.603 L/s
12	Febrero / 2026	MB-03	Manante	Permanente	Riego	190887	8501015	0.062 L/s
13	Febrero / 2026	MB-04	Manante	Permanente	Riego	190817	8500939	0.085 L/s
14	Febrero / 2026	MA-01	Manante	Temporal	Riego	192020	8502554	0.004 L/s
15	Febrero / 2026	MA-02	Manante	Temporal	Riego	192260	8502351	0.003 L/s

SIMBOLOGIA
MANATES
Inventario
Captación
Manantial
FALLAS LOCALES
FALLA INFERIDA
FALLA NORMAL
Curvas de nivel - Principal
Curvas de nivel - Secundaria
Microcuenca

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

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

MAPA DE UBICACIÓN DE MANANTES

ELABORADO POR: BR. JHON NINA VILLENA; BR. EDITH HUAMANI FLORES
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 19S
ASESOR: Ing. IVAN CACERES ANGULO
ESCALA: 1:10000
N° MAPA: 15
UBICACIÓN: DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO

Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

5.1.1 CALCULO DE CAUDAL DE MANANTES

El método volumétrico es una técnica experimental que consiste en la recolección de un volumen conocido durante un intervalo de tiempo determinado para calcular el caudal.

Este método se basa en la medición directa de dos variables que son el volumen y el tiempo, las plantillas se pueden observar en la sección de Anexos.

Figura 86

Se muestra los materiales que se utilizaron para el cálculo de Caudal que son un recipiente con medida, cronometro, y una libreta de campo.



Figura 87

Formato de medición de caudal para la microcuenca de Joctopuquio

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	1	1	1	
TIEMPO (s)	78	81	50	
CAUDAL (L/s)	0.013	0.012	0.020	0.045 L/s

OBSERVACIONES

. Es una captación temporal, se activa en temporadas de lluvias y tiene bajo caudal.

PANEL FOTOGRAFICO



A. CLASIFICACIÓN DE LA DESCARGA DE MANANTIALES SEGÚN MEIZER (1923)

Para realizar la clasificación se tomó en cuenta los caudales máximos y mínimos de las captaciones que se encuentran en nuestra zona de estudio (0.003-1.133 l/s) que fueron aforados en el mes de marzo del 2025.

Tabla 48

Clasificación de manantes por su productividad

Categoria	Caudal (l/s)
Primera	Superior a 2830
Segunda	Entre 283 y 2830
Tercera	Entre 28.3 y 283
Cuarta	Entre 10.0 y 28.3
Quinta	Entre 3.0 y 10.0
Sexta	Entre 1.0 y 3.0
Septima	Menores de 1.0

Nota: Adaptado de The Occurrence of Ground Water in the United States. The occurrence of ground water in the United States, with a discussion of principles. United States Geological Survey. Meizer (1923)

Según la clasificación de Meizer de 15 manantes, 2 captaciones se encuentran sexta categoría, 13 captaciones se encuentra séptima categoría

Figura 88

Categoría de manantes de la microcuenca de Joctopuquio



5.2 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Los parámetros hidrogeológicos son fundamentales para caracterizar el comportamiento de los acuíferos y evaluar la disponibilidad y movimiento del agua en el subsuelo.

Según (R.A. & J.A., 1979)R.A. el estudio del agua subterránea requiere comprender las propiedades físicas del medio poroso, las cuales controlan el almacenamiento y flujo del agua.

Los parámetros hidrogeológicos, nos ayudan a evaluar la disponibilidad de agua subterránea, modelar el flujo de agua en el subsuelo y prevenir la sobreexplotación de acuífero.

5.2.1 PERMEABILIDAD

La permeabilidad es una de las propiedades más importantes en la hidrogeología, ya que controla el movimiento del agua a través de los materiales del subsuelo. Su estudio permite comprender el comportamiento de los acuíferos y la dinámica del flujo subterráneo.

Según (Custodio & Llamas, 1983), la permeabilidad constituye un parámetro fundamental para evaluar la capacidad de los medios geológicos de transmitir agua bajo la acción de un gradiente hidráulico.

Según (Fetter, 2001) la permeabilidad es la propiedad de un material geológico que describe su capacidad para transmitir fluidos a través de los espacios porosos interconectados.

Figura 89

Características del suelo según su permeabilidad.

Permeabilidad (m/día)	10^4	10^3	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena			Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas		
Calificación	Buenos acuíferos					Acuíferos pobres			Impermeables		
Capacidad de drenaje	Drenan bien					Drenan mal			No drenan		

Fuente: Adaptado de Applied Hydrogeology, de C. W. Fetter (2001).

PERMEABILIDAD DE MATERIALES NO CONSOLIDADOS

Para determinar la permeabilidad en campo es fundamental, evaluar el comportamiento hidráulico de los suelos, el método que se aplico es el método de Porchet, la cual nos permitirá estimar la conductividad hidráulica in situ, el cual consiste en excavar un pozo cilíndrico en el terreno y medir el descenso del nivel del agua en función del tiempo, una vez alcanzada la saturación del suelo.

$$km = \frac{\pi d^2}{11D\Delta t} \ln\left(\frac{H1}{H2}\right)$$

km = Conductividad Hidráulica media (cm/s)

d = Diámetro del tubo superior (cm)

D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)

H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)

H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)

Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)

Estos datos que se tomaron en campo se pueden observar en la sección de Anexos.

Figura 90

Esquema de campo de permeabilidad del método de Porchet de la microcuenca de Joctopuquio del punto P-01

P-01	DATOS DE PRUEBA:		
1	d =	27.60	cm
2	D =	23.00	cm
3	H1 =	26.00	cm
4	H2 =	12.00	cm
5	Δt =	3147.00	seg
6	km =	2.32E-03	cm/seg
VARIACIÓN DE k:			
N°	H	t	Km
1	26.00	0.00	
2	25.00	78.00	4.756E-03
3	24.00	165.00	4.589E-03
4	23.00	265.00	4.376E-03
5	22.00	403.00	3.921E-03
6	21.00	589.00	3.430E-03
7	20.00	789.00	3.145E-03
8	19.00	986.00	3.009E-03
9	18.00	1259.00	2.763E-03
10	17.00	1519.00	2.646E-03
11	16.00	1775.00	2.587E-03
12	15.00	2086.00	2.494E-03
13	14.00	2432.00	2.408E-03
14	13.00	2747.00	2.387E-03
15	12.00	3147.00	2.324E-03





Figura 91

Esquema de campo de permeabilidad del método de Porchet de la microcuenca de Joctopuquio del punto P-02

P-02	DATOS DE PRUEBA:		
1	d =	28.40	cm
2	D =	24.65	cm
3	H1 =	26.00	cm
4	H2 =	10.00	cm
5	Δt =	1721.00	seg
6	km =	5.19E-03	cm/seg
VARIACIÓN DE k:			
N°	H	t	Km
1	24.00	0.00	
2	23.00	26.00	1.530E-02
3	22.00	57.00	1.427E-02
4	21.00	95.00	1.314E-02
5	20.00	145.00	1.175E-02
6	19.00	210.00	1.040E-02
7	18.00	289.00	9.302E-03
8	17.00	398.00	8.097E-03
9	16.00	530.00	7.149E-03
10	15.00	679.00	6.469E-03
11	14.00	835.00	6.032E-03
12	13.00	1034.00	5.541E-03
13	12.00	1253.00	5.170E-03
14	11.00	1476.00	4.939E-03
15	10.00	1721.00	4.754E-03

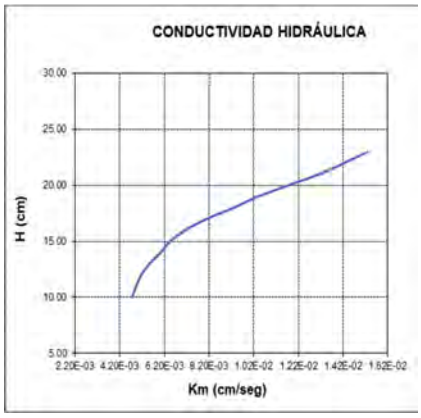




Figura 92

Esquema de campo de permeabilidad del método de Porchet de la microcuenca de Joctopuquio del punto P-03

P-03	DATOS DE PRUEBA:		
1	d =	26.80	cm
2	D =	22.50	cm
3	H1 =	26.00	cm
4	H2 =	8.00	cm
5	Δt =	1026.00	seg
6	km =	1.05E-02	cm/seg
VARIACIÓN DE k:			
N°	H	t	Km
1	22.00	0.00	
2	21.00	5.00	8.482E-02
3	20.00	13.00	6.684E-02
4	19.00	23.00	5.811E-02
5	18.00	46.00	3.977E-02
6	17.00	76.00	3.093E-02
7	16.00	115.00	2.525E-02
8	15.00	175.00	1.995E-02
9	14.00	245.00	1.682E-02
10	13.00	301.00	1.593E-02
11	12.00	389.00	1.421E-02
12	11.00	436.00	1.449E-02
13	10.00	625.00	1.150E-02
14	9.00	856.00	9.520E-03
15	8.00	1026.00	8.989E-03





Figura 93

Esquema de campo de permeabilidad del método de Porchet de la microcuenca de Joctopuquio del punto P-04

P-04	DATOS DE PRUEBA:		
1	d =	25.00	cm
2	D =	21.00	cm
3	H1 =	28.00	cm
4	H2 =	14.00	cm
5	Δt =	1896.00	seg
6	km =	3.11E-03	cm/seg
VARIACIÓN DE k:			
N°	H	t	Km
1	28.00	0.00	
2	27.00	15.00	2.061E-02
3	26.00	37.00	1.702E-02
4	25.00	68.00	1.417E-02
5	24.00	102.00	1.285E-02
6	23.00	168.00	9.953E-03
7	22.00	258.00	7.945E-03
8	21.00	352.00	6.947E-03
9	20.00	521.00	5.489E-03
10	19.00	703.00	4.688E-03
11	18.00	912.00	4.118E-03
12	17.00	1125.00	3.770E-03
13	16.00	1356.00	3.508E-03
14	15.00	1602.00	3.312E-03
15	14.00	1896.00	3.107E-03

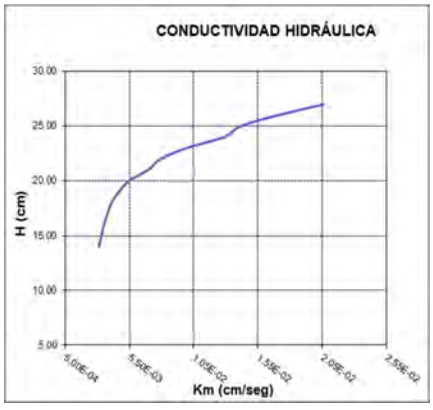


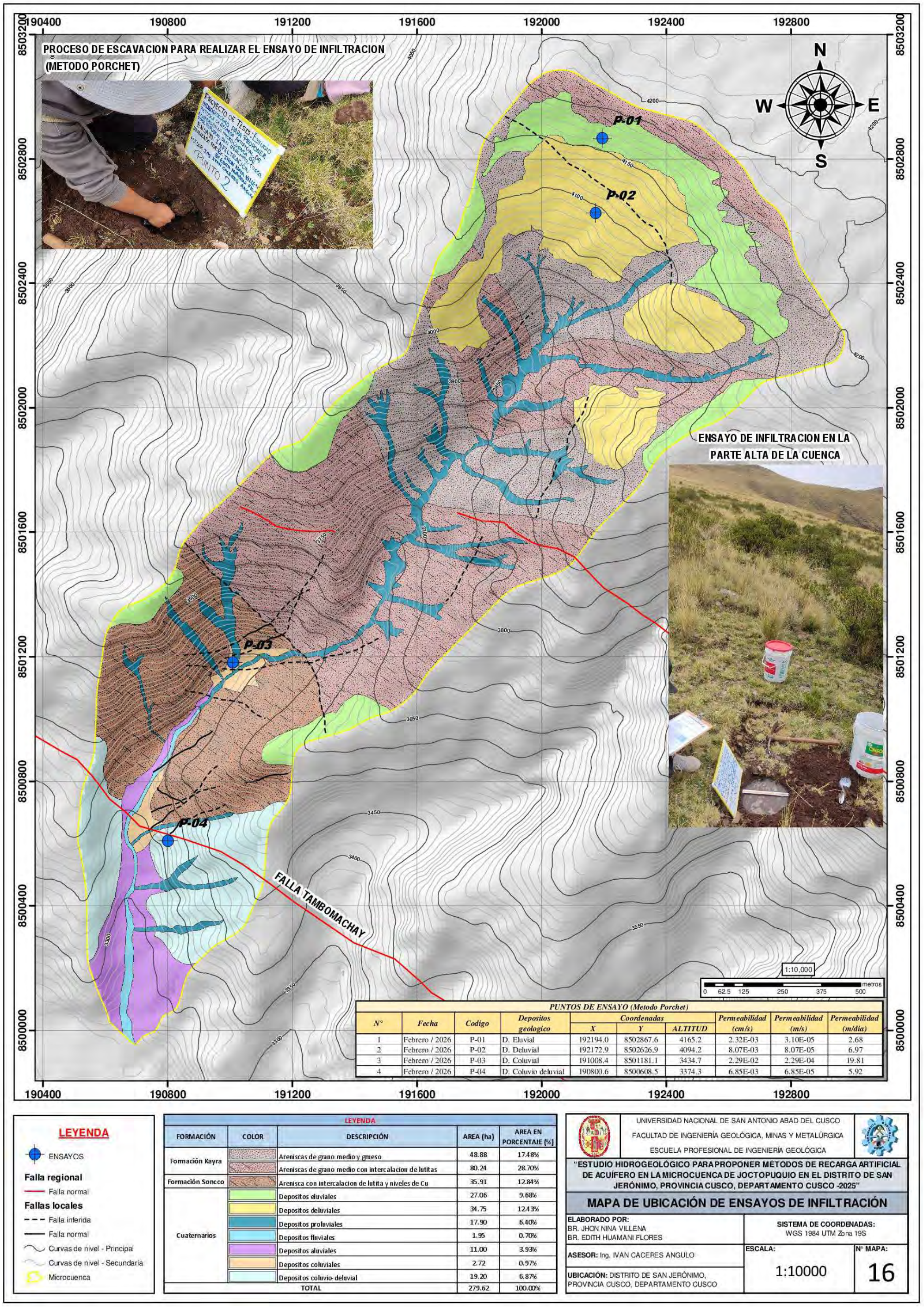


Figura 94

Resumen de permeabilidad en materiales no consolidados mediante el método de Porchet

PUNTOS DE ENSAYO (Metodo Porchet)									
N°	Fecha	Codigo	Depositos geologico	Coordenadas			Permeabilidad (cm/s)	Permeabilidad (m/s)	Permeabilidad (m/dia)
				X	Y	ALTITUD			
1	Febrero / 2026	P-01	D. Eluvial	192194.0	8502867.6	4165.2	2.32E-03	3.10E-05	2.68
2	Febrero / 2026	P-02	D. Deluvial	192172.9	8502626.9	4094.2	8.07E-03	8.07E-05	6.97
3	Febrero / 2026	P-03	D. Coluvial	191008.4	8501181.1	3434.7	2.29E-02	2.29E-04	19.81
4	Febrero / 2026	P-04	D. Coluvio deluvial	190800.6	8500608.5	3374.3	6.85E-03	6.85E-05	5.92

Figura 95 *Mapa de Ubicación de manantes de la microcuenca Joctopuquio*



Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

PERMEABILIDAD DE MATERIALES CONSOLIDADOS (Porosidad secundaria)

En los materiales consolidados, como rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias compactadas, la permeabilidad presenta un comportamiento diferente al de los suelos no consolidados. En estos medios, el flujo de agua no depende principalmente de la porosidad intergranular, sino de la presencia de discontinuidades.

Según (Hoek & Bray, 1981) la permeabilidad en macizos rocosos está controlada fundamentalmente por fracturas, fisuras y planos de debilidad.

$$k = \frac{a^2 * \gamma}{12 * u * b}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad

a: Promedio de aberturas de fracturas

u: Coeficiente de viscosidad dinámica de agua (0.01g/cm. s)

b: Promedio de espaciado de fractura

γ: Peso específico del agua (0.0998 g/cm3)

Teniendo en cuenta las estaciones geomecánicas tomadas en nuestra área de estudio se pudo determinar la permeabilidad de materiales consolidados para las siguientes Formaciones geológicas:

FORMACIÓN SONCCO

Tabla 49

Abertura de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Soncco

ABERTURA DE FRACTURAS					
ESTACIONES GEOMECANICAS	Estrato (cm)	Familia 1 (cm)	Familia 2 (cm)	Familia 3 (cm)	a (cm)
FSC-1	0.20	0.23	0.33	0.23	0.25
FSC-2	0.23	0.23	0.33	0.23	0.26
FSC-3	0.27	0.70	1.50	0.77	0.81
FSC-4	0.20	0.37	0.37	0.37	0.33
FSC-5	0.20	0.27	0.23	0.27	0.24

Tabla 50

Espaciado de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Soncco

ESPACIADO ENTRE FRACTURAS					
ESTACIONES GEOMECANICAS	Estrato (cm)	Familia 1 (cm)	Familia 2 (cm)	Familia 3 (cm)	b (cm)
FSC-1	43.00	43.00	13.00	12.00	27.75
FSC-2	56.67	17.67	17.00	19.00	27.59
FSC-3	77.00	47.33	31.33	47.67	50.83
FSC-4	81.00	44.67	48.33	43.67	54.42
FSC-5	85.00	67.67	40.00	51.67	61.09

Tabla 51

Coeficiente de permeabilidad la microcuenca de Joctopuquio en la formación Soncco

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD			
ESTACIONES GEOMECANICAS	cm/s	m/s	m/día
FSC-1	0.01529	0.00015	13.21462
FSC-2	0.01633	0.00016	14.11155
FSC-3	0.08943	0.00089	77.26734
FSC-4	0.01366	0.00014	11.79917
FSC-5	0.00667	0.00007	5.76310
PROMEDIO			**24.43116**

FORMACION KAYRA SUPERIOR

Tabla 52

Abertura de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Superior

ABERTURA DE FRACTURAS				
ESTACIONES GEOMECANICAS	Familia 1 (cm)	Familia 2 (cm)	Familia 3 (cm)	a (cm)
FKS-1	0.83	0.70	0.83	0.79
FKS-2	0.83	0.60	0.80	0.74
FKS-3	0.80	0.70	0.93	0.81
FKS-4	0.70	0.77	0.87	0.78
FKS-5	1.27	0.77	1.20	1.08

Tabla 53

Espaciado de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Superior

ESPACIADO ENTRE FRACTURAS				
ESTACIONES GEOMECANICAS	Familia 1 (cm)	Familia 2 (cm)	Familia 3 (cm)	b (cm)
FKS-1	75.00	50.00	46.67	57.22
FKS-2	41.67	28.33	48.00	39.33
FKS-3	51.67	27.33	54.00	44.33
FKS-4	38.33	26.33	51.67	38.78
FKS-5	50.00	24.67	54.00	42.89

Tabla 54

Coeficiente de permeabilidad la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Superior

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD			
ESTACIONES GEOMECANICAS	cm/s	m/s	m/día
FKS-1	0.07493	0.00075	64.74045
FKS-2	0.09733	0.00097	84.09571
FKS-3	0.10254	0.00103	88.59455
FKS-4	0.10871	0.00109	93.92606
FKS-5	0.18843	0.00188	162.80166
PROMEDIO			**98.83169**

FORMACION KAYRA MEDIO

Tabla 55

Abertura de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Medio

ABERTURA DE FRACTURAS				
ESTACIONES GEOMECANICAS	Familia 1 (cm)	Familia 2 (cm)	Familia 3 (cm)	a (cm)
FKM-1	1.00	1.23	0.70	0.98
FKM-2	1.13	0.63	1.13	0.96

Tabla 56

Espaciado de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Medio

ESPACIADO ENTRE FRACTURAS				
ESTACIONES GEOMECANICAS	Familia 1 (cm)	Familia 2 (cm)	Familia 3 (cm)	b (cm)
FKM-1	38.33	43.00	53.33	44.89
FKM-2	48.00	56.00	46.67	50.22

Tabla 57

Coeficiente de permeabilidad la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Medio

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD			
ESTACIONES GEOMECANICAS	cm/s	m/s	m/dia
FKM-1	0.14724	0.00147	127.21630
FKM-2	0.12803	0.00128	110.61525
PROMEDIO			**118.91577**

FORMACION KAYRA BAJO

Tabla 58

Abertura de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Bajo

ABERTURA DE FRACTURAS				
ESTACIONES GEOMECANICAS	Familia 1 (cm)	Familia 2 (cm)	Familia 3 (cm)	a (cm)
FKB-1	1.13	0.67	0.63	0.81
FKB-2	1.10	0.77	0.83	0.90
FKB-3	0.80	0.93	0.80	0.84

Tabla 59

Espaciado de fracturas la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Bajo

ESPACIADO ENTRE FRACTURAS				
ESTACIONES GEOMECANICAS	Familia 1 (cm)	Familia 2 (cm)	Familia 3 (cm)	b (cm)
FKB-1	38.33	33.33	46.67	39.44
FKB-2	33.33	51.67	48.33	44.44
FKB-3	17.33	18.00	51.00	28.78

Tabla 60

Coeficiente de permeabilidad la microcuenca de Joctopuquio en la formación Kayra Bajo

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD			
ESTACIONES GEOMECANICAS	cm/s	m/s	m/día
FKB-1	0.11525	0.00115	99.57809
FKB-2	0.12628	0.00126	109.10528
FKB-3	0.17124	0.00171	147.95356
PROMEDIO			**118.87898**

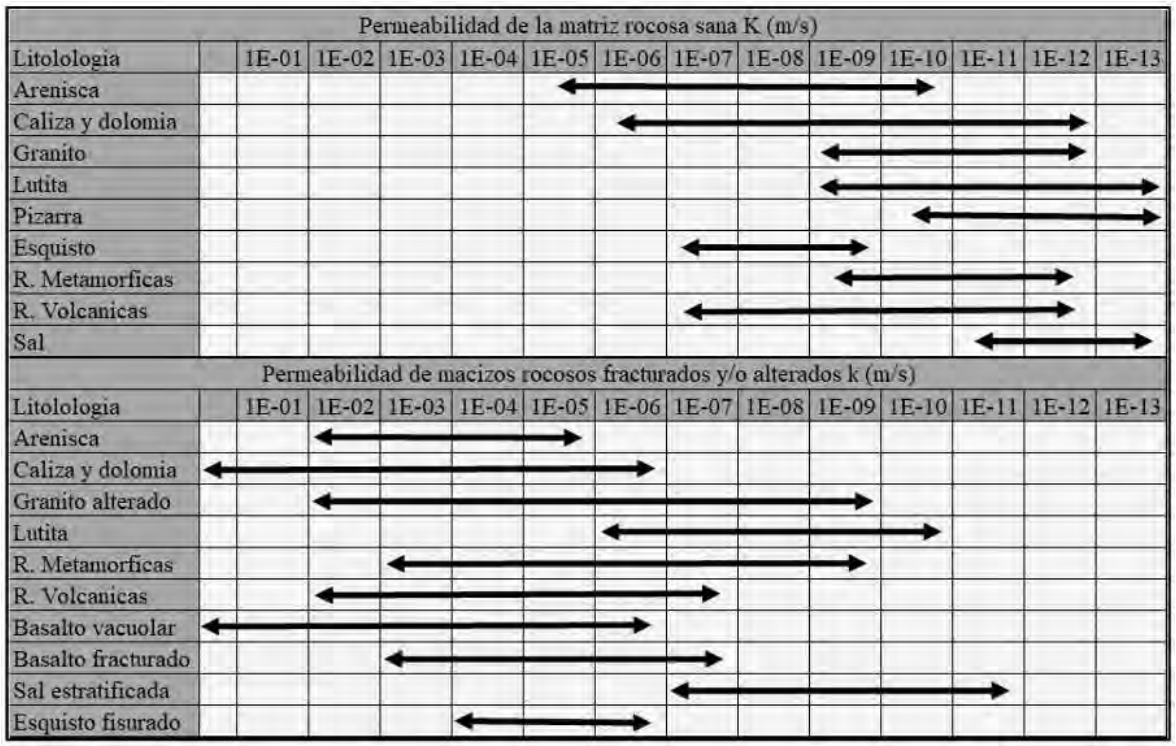
Tabla 61

Resumen de permeabilidad Efectiva de las formaciones geológicas

FORMACIONES GEOLOGICAS	PERMEABILIDAD EFECTIVA		
	cm/s	m/s	m/dia
Formacion Soncco	0.028276801	0.00028277	24.4311562
Formacion Kayra Alta	0.114388527	0.00114389	98.8316875
Formacion Kayra Media	0.137633999	0.00137634	118.915775
Formacion Kayra Baja	0.137591409	0.00137591	118.878978

Figura 96

Valores de permeabilidad para materiales consolidados



Fuente: (Hudson & Harrison, 2000)

5.2.2 POROSIDAD

La porosidad de un material consolidado y no consolidado esta expresado por la relación entre el volumen de vacíos (agua o aire) y el volumen total (Custodio & Llamas, 1983) dentro de los materiales consolidados se puede apreciar la porosidad primaria y secundaria; la porosidad primaria está referido a los poros que se forma durante la

litificación del material y esto está condicionado por procesos geológicos como la compactación y sedimentación. En cuanto a la porosidad secundaria nos referimos a los poros que se forma después de la deposición y litificación de los materiales las cuales están condicionadas por procesos geológicos posteriores (esfuerzos tectónicos) y se expresan como fallas, fracturas.

POROSIDAD EFICAZ

La porosidad eficaz nos indica la capacidad de almacenar y transmitir fluidos(agua), esta porosidad es muy importante ya que determina el potencial de un material para permite el flujo a través de él, el cual se determina entre la relación del volumen de poros conectados entre sí y el volumen total de la muestra.

$$me = \frac{v_e}{vt} * 100$$

Donde

me: Porosidad eficaz

Ve: Volumen total de poros conectados entre si

Vt: Volumen total

Relación entre el volumen total y volumen eficaz

$$m_t = m_e + m_S$$

mt: porosidad total

me: porosidad eficaz

ms: capacidad de retención especifica

CAPACIDAD DE RETENCION ESPECIFICA

El agua retenida en el material esta expresado entre la relación del volumen de agua retenida saturada inicialmente y el volumen total

$$m_s = \frac{v_s}{v_t} \times 100$$

ms: Capacidad de retención especifica

Vs: Volumen de agua retenida en la roca

Vt: Volumen total

En cuando a la porosidad de fracturas a nivel regional está controlada por la falla Tambomachay lo que explica la presencia de fracturamiento intenso, la ocurrencia de fallas secundarias y la variabilidad en la orientación y buzamiento de las fallas. Cual general aumentan considerablemente la porosidad secundaria de las rocas. Para la evaluación de la porosidad total y eficaz de los materiales de nuestra zona de estudio se tomó en cuenta el cuadro de valores de porosidad según Sanders (1998).

Figura 97

Valores de porosidad de materiales consolidados y no consolidados

	total	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
Shale intacta	1 a 10	0,5 a 5
Shale fraturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0,5 a 10
Calizas, dolomías NO carstificadas	0,1 a 25	0,1 a 5
Calizas, dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0,01 a 1	0,0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0,00005 a 0,01

Fuente: (Sanders,1998)

5.2.3 TRANSMISIVIDAD

La transmisividad hidráulica, o simplemente transmisividad, se refiere al flujo de agua subterránea que circula a través de una sección de un acuífero con un espesor saturado determinado, y es un indicador de la capacidad de explotación del acuífero. Este parámetro fue introducido por Teheis en 1935, quien lo definió como el caudal de agua que se filtra a través de una franja vertical del terreno, con un ancho unitario y una altura igual al manto permeable saturado, bajo un gradiente de unidad y a una temperatura constante (Custodio & Llamas, 1983). Según la ley de Darcy, se expresa de la siguiente manera:

$$Q = k * A * i$$

$A: b * L$

$T = k * b$

Donde:

A: Área de sección a través de la cual fluye el agua

b: Altura de la sección

L: Longitud de la sección

k: Coeficiente de permeabilidad

T: Transmisividad

Para el cálculo de la transmisividad se utilizó la formula experimental de Galofre (Importante hidrogeólogo de la Generalitat de Catalunya) que comprobó que:

T (m2/dia) = 100 * q (lt/s/m)

Es decir, el caudal aforado en campo de una captación (q) se indica en lt/s/m teniendo en cuenta un declive de 10 m, la transmisividad expresada en m2/día es 100 veces q.

Tabla 62

Resumen de la trasmisibilidad en la microcuenca de Joctopuquio.

Código	Coordenadas		Caudal (lt/s)		q	TRANSMISIVIDAD
	X	Y	Q (lt/s)	Q (m3/día)	(lt/s.m)	T(m2/día)
CAP-01	191071	8501177	0.05	3.90	0.00	0.45
CAP-02	191055	8501162	0.05	3.99	0.00	0.46
CAP-03	191029	8501159	0.31	27.05	0.03	3.13
CAP-04	191020	8501144	0.04	3.28	0.00	0.38
CAP-05	191002	8501140	0.37	32.13	0.04	3.72
CAP-06	190987	8501134	1.07	92.16	0.11	10.67
CAP-07	190966	8501124	0.79	67.89	0.08	7.86
CAP-08	190941	8501095	1.13	97.92	0.11	11.33
CAP-09	190910	8501044	0.76	65.49	0.08	7.58
MB-01	190981	8501122	0.02	1.41	0.00	0.16
MB-02	190956	8501103	0.60	52.11	0.06	6.03
MB-03	190887	8501015	0.06	5.35	0.01	0.62
MB-04	190817	8500939	0.08	7.30	0.01	0.85
MA-01	192020	8502554	0.00	0.36	0.00	0.04
MA-02	192260	8502351	0.00	0.27	0.00	0.03

Figura 98

Valores de transmisividad para puntos de caudales

T(m/d)	Calificación	Posibilidades del acuífero
T<10	Muy baja	Menos de 1lt/s con 10m de depresión
10<T<100	Baja	Entre 1 y 10lt/s con 10m de depresión
100<T<500	Media a alta	Entre 10 y 50lt/s con 10m de depresión
500<T<1000	Alta	Entre 50 y 100lt/s con 10m de depresión
T>1000	Muy alta	Mas de 100lt/s con 10m de depresión

Fuente: (Iglesias, 2002)

5.3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS

La caracterización hidrogeológica está determinada por los parámetros hidrogeológicos como la permeabilidad la porosidad, etc. la cual está relacionada con el movimiento de aguas subterráneas.

Para el mejor entendimiento de la clasificación hidrogeológica de los acuíferos se dividió en acuíferos fisurados en rocas y acuíferos porosos no consolidados de depósitos cuaternarios.

5.3.1 ACUÍFEROS FISURADOS SEDIMENTARIOS

ACUÍFERO FISURADO SEDIMENTARIO KAYRA

Esta unidad tiene la mayor distribución de área en la microcuenca de estudio, conformado por areniscas feldespáticas con intercalación de lutitas altamente fracturada debido a la presencia fallas regionales y locales encontradas en la parte alta y media de la microcuenca, con capacidades de almacenamiento y transmisión buena. Presenta una permeabilidad efectiva k= $1.30x10^{-3}$ m/s y porosidad eficaz me= 10-13%.

El movimiento del flujo subterráneo en esta unidad hidrogeológica es a través de sistemas de fracturas y planos de estratificación con buzamientos a favor de la microcuenca, lo que favorece en la infiltración y desplazamiento de las aguas subterráneas.

Figura 99

Acuífero fisurado sedimentario de la formación Kayra en la microcuenca de Joctopuquio



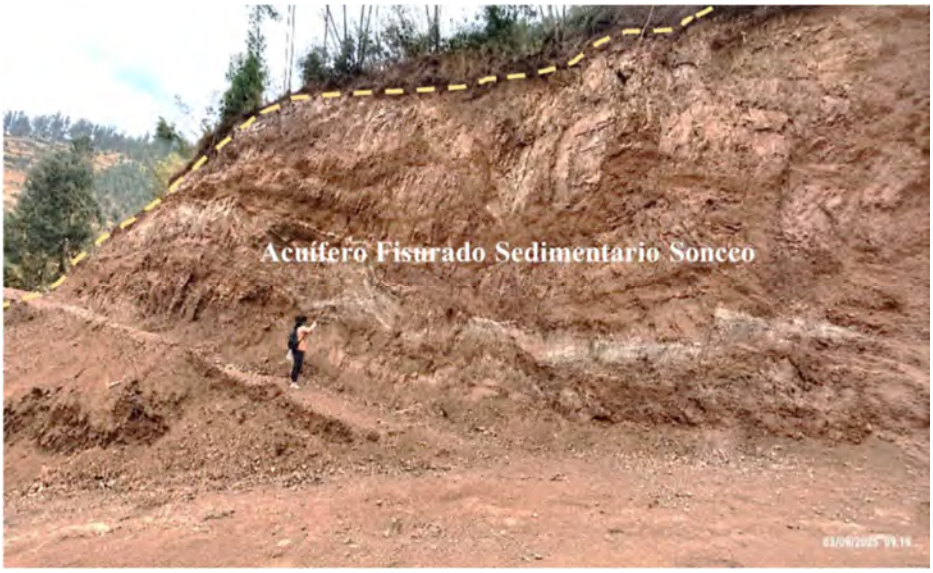
ACUÍFERO FISURADO SEDIMENTARIO SONCCO

Esta unidad está conformada por areniscas feldespáticas con intercalación de lutitas y niveles de Cu altamente fracturado, esto debido a los riedels presentes por la falla Tambomachay, con capacidades de almacenamiento y transmisión media a buena, con una permeabilidad efectiva k=2.84x10^{-4} m/s y porosidad eficaz me = 10-12%.

El movimiento del flujo subterráneo en esta unidad hidrogeológica está ligado principalmente al fracturamiento de la roca, las direcciones de flujo en esta unidad van hacia el SW, por otra parte, este acuífero es gran aportante de la mayoría de manantes que afloran en esta zona.

Figura 100

Acuífero fisurado sedimentario de la formación Soncco en la microcuenca de Joctopuquio



5.3.2 ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS

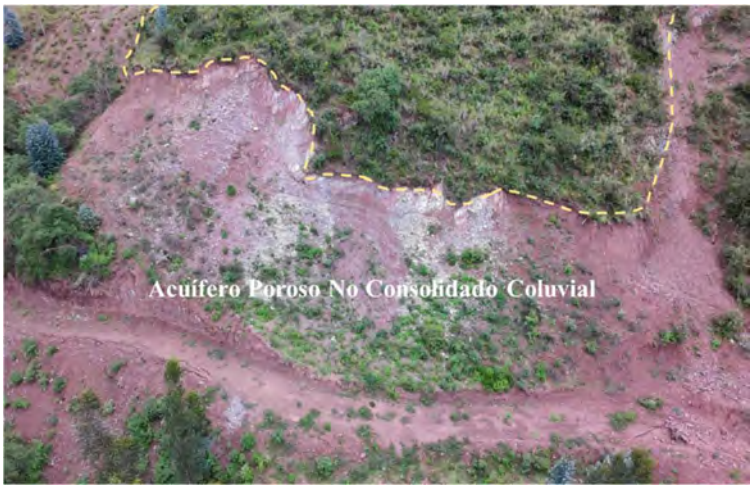
ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO COLUVIAL

Esta unidad se encuentra generalmente en las laderas y bases de las montañas producto de un movimiento de masas antiguo y presentan variaciones en su permeabilidad dependiendo de la composición del material.

Este depósito se encuentra compuestos por gravas angulosas en una matriz limo arenoso, presentan una permeabilidad de $2.29x10^{-4}$ y una porosidad de 18-20%.

Figura 101

Acuífero poroso no consolidado coluvial en la microcuenca de Joctopuquio

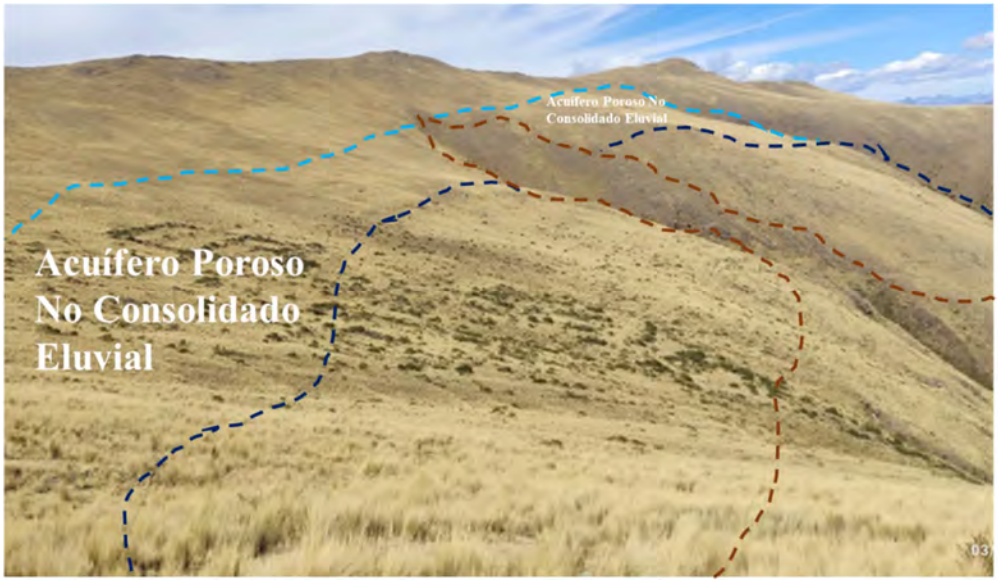


ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO ELUVIALES

Esta unidad se generó producto de la meteorización in situ de la roca con bajo grado de transporte, se encuentran generalmente en las laderas de las montañas teniendo una permeabilidad moderada de $3.10x10^{-5}$ m/s y una porosidad de 15-20%.

Figura 102

Acuífero poroso no consolidado Eluvial en la microcuenca de Joctopuquio

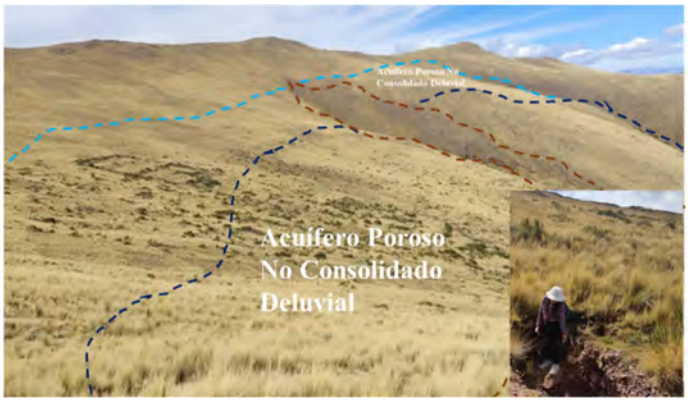


ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO DELUVIALES

Esta unidad está formada por material que han sido transportado por escorrentía superficial acumuladas en zonas de baja pendiente, presenta una permeabilidad moderada de $8.07x10^{-5}$ m/s y una porosidad de 15-20%.

Figura 103

Acuífero poroso no consolidado Deluvial en la microcuenca de Joctopuquio



ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO COLUVIO- DELUVIALES

Esta unidad está conformada por materiales que han sido transportados y depositados, acumulados en laderas por acción combinada de gravedad y escorrentía. Presenta una permeabilidad moderada de $6.85x^{10-5}$ y una porosidad de 15-20%.

Figura 104

Acuífero poroso no consolidado Coluvio-Deluvial en la microcuenca de Joctopuquio



Tabla 63

Unidades hidrogeológicas en la microcuenca de Joctopuquio

FORMACIÓN GEOLÓGICA	LITOLOGÍA	PERMEABILIDAD (m/s)	POROSIDAD EFICAZ (%)	CLASIFICACIÓN TEXTURAL	CLASIFICACIÓN HIDRÁULICA Y ESTRUCTURAL	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA
Fm. Soncco	Areniscas feldespáticas (arcosas) de grano medio a grueso con intercalación de lutita y niveles de Cu.	2.83E-04	10-12	Acuífero fisurado sedimentario	Acuífero Libre	Acuífero de permeabilidad alta
Fm. Kayra	Areniscas feldespáticas(arcosas) y areniscas con presencia de clastos blandos (lutita) con intercalación de lutitas.	1.30E-03	10-13	Acuífero fisurado sedimentario	Acuífero Libre	Acuífero de permeabilidad alta
Depósitos Eluviales	Formado por una mezcla de arenas limos y arcillas de espesor de 0.2 a 0.5 metros	3.10E-05	15-20	Acuífero poroso en sedimento no consolidado	Acuífero Libre	Acuífero de permeabilidad baja-moderada
Depósitos Deluviales	Compuestos por una mezcla de arena con inclusión de fragmentos de rocas angulosas pequeñas a medianas, tienen espesores de 2.30 a 4.00m,	8.07E-05	15-20	Acuífero poroso en sedimento no consolidado	Acuífero Libre	Acuífero de permeabilidad moderada
Depósitos Coluviales	Formado por mezcla de fragmentos rocosos con una matriz limo arenoso.	2.29E-04	18-20	Acuífero poroso en sedimento no consolidado	Acuífero Libre	Acuífero de permeabilidad alta
Depósitos Coluvio deluviales	Litológicamente compuestos por bloques angulosos a sub angulosos envueltos en matriz limo arenoso y arcilla.	6.85E-05	15-20	Acuífero poroso en sedimento no consolidado	Acuífero Libre	Acuífero de permeabilidad moderada

Figura 105

Modelo conceptual del acuífero en la Microcuenca de Joctopuquio

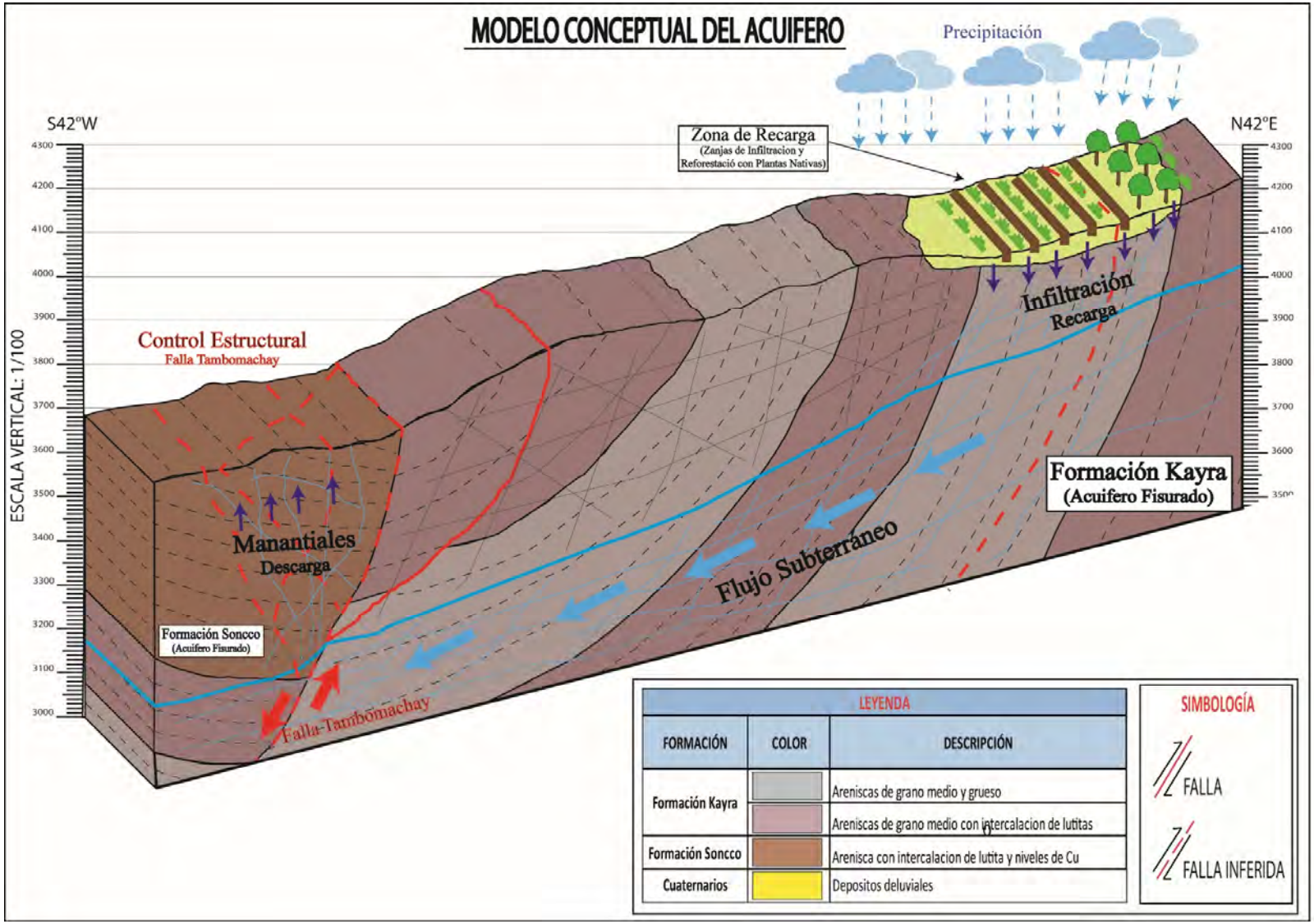
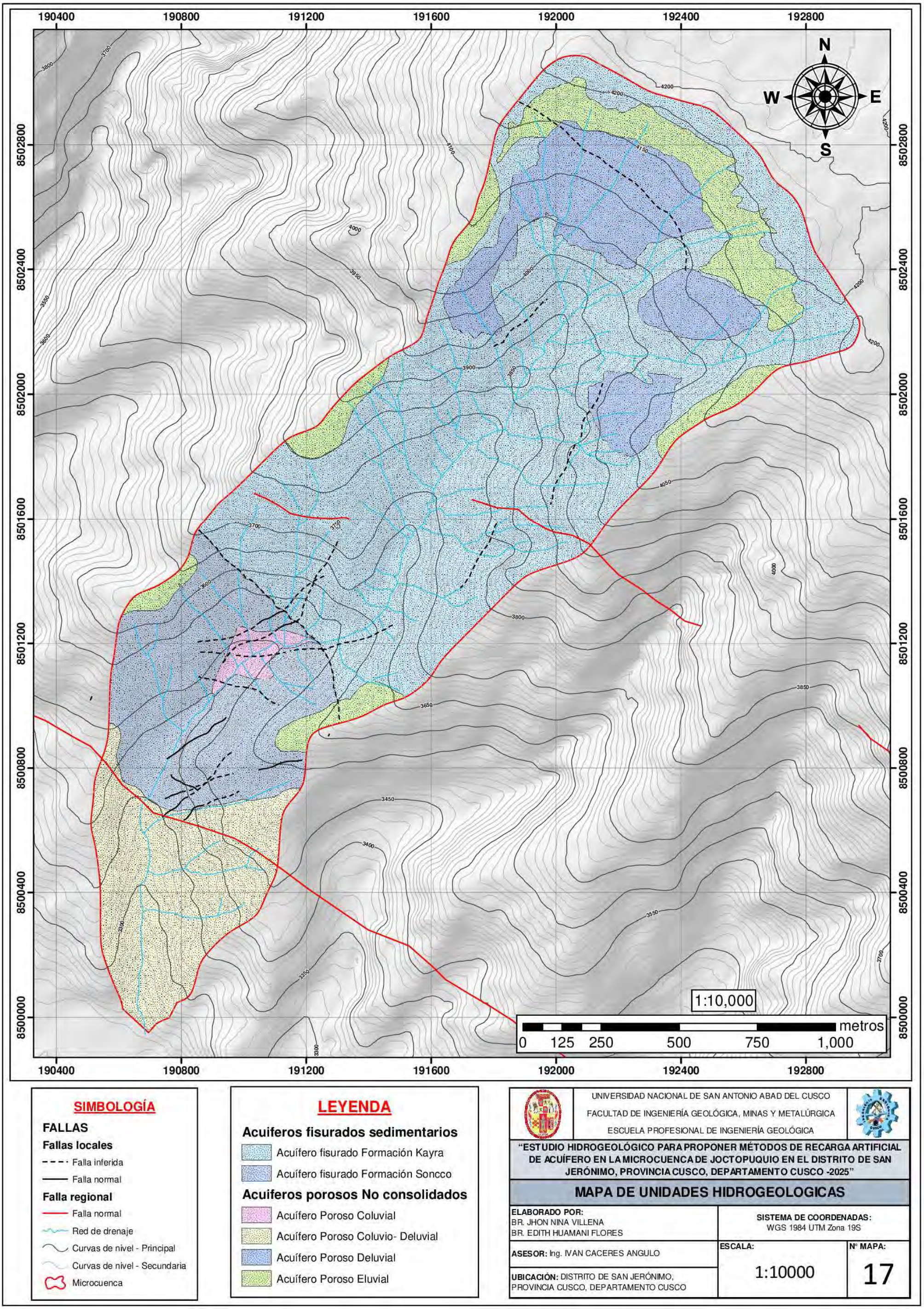


Figura 106 *Mapa de Unidades hidrogeológicas de la microcuenca de Joctopuquio.*



Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

5.4 HIDROGEOQUÍMICA

La hidrogeoquímica se enfoca en las características geoquímicas del agua y su interacción con las rocas de la corteza terrestre **Fuente especificada no válida.** siendo este muy importante para conocer los ambientes hidrogeológicos y la interacción con el medio en el cual se encuentra o si hubo una interacción antrópica que afecten en la composición del agua.

El presente capitulo tiene como finalidad evaluar la concentración de los diferentes elementos químicos del agua y su relación con el medio geológico por lo que sacaron 4 muestras; 2 de manantes aflorantes y el resto se sacó muestras del cauce con el fin de conocer la variación química del agua ya que hay interacción con actividades antrópicas ya sea agricultura o expansión urbana.

Las muestras tomadas durante el trabajo de campo fueron trasladadas a un laboratorio especializado en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco para la ejecución de los análisis físico-químicos correspondientes.

5.4.1 UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

En la cuenca de Joctopuquio se realizaron 4 puntos de muestreo de agua durante los trabajos en campo y llevados a un laboratorio especializado en el análisis de parámetros físicos y químicos.

Se analizaron parámetros físicos-químicos como PH, conductividad eléctrica, total de solidos disueltos y alcalinidad, también parámetros químicos como calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, sulfatos y bicarbonatos.

A. MANANTES

Los puntos P-1 y P-2 se muestrearon de la captación y manante aflorante respectivamente, estas nos muestran la calidad del recurso hídrico, se obtuvieron resultados que se muestran en la Tabla 64.

Tabla 64

Parámetros físico- químicos y parámetros químicos del punto 01 y punto 02 en la microcuenca de Joctopuquio

PUNTOS			P-01	P-02
PARAMETROS FISICO-QUIMICOS		Ph	7.53	7.3
		C.E. (uS/cm)	194.2	198
		SDT (ppm)	112.8	117.3
		Alcalinidad (ppm)	73.44	68.63
PARAMETROS QUIMICOS	CATIONES ppm	Calcio (Ca^{2+})	33.44	34.2
		Magnesio (Mg^{2+})	5.52	4.14
		Sodio (Na^{+})	2.7	2.3
		Potasio (K^{+})	0.1	0.1
	ANIONES ppm	Cloruros (Cl^{-})	4.55	3.85
		Sulfatos (SO_4^{2-})	12.4	14.6
		Nitratos (NO_3^{-})	12.1	10.3
		Bicarbonatos (HCO_3^{-})	89.6	83.73

Figura 107

Muestreo de Manantes del punto 01 y punto 02 de la microcuenca de Joctopuquio



B. CAUCE DEL RIO

En los puntos P-3 y P-4 se tomaron muestras del cauce del rio, la muestra P-3 tiene de referencia con el inicio de la actividad antrópica (expansión urbana y agricultura), el punto P-4 se tomó en el desfogue, de la cuenca, estas muestras se tomaron a fin de conocer la influencia de la actividad humana con el recurso hídrico. Los resultados se muestran en la Tabla 65.

Tabla 65

Parámetros físico- químicos y parámetros químicos del punto 03 y punto 04 en la microcuenca de Joctopuquio

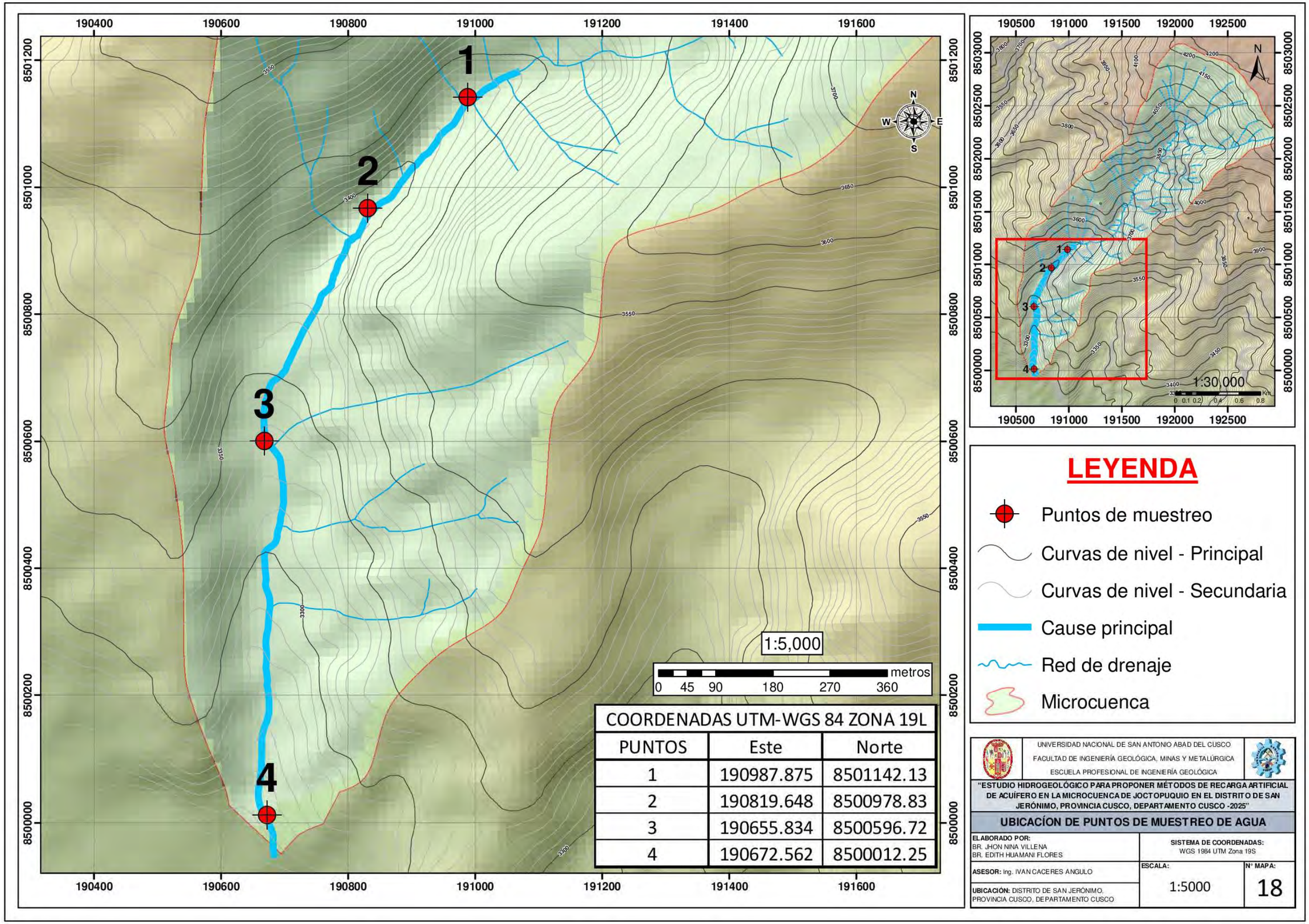
PUNTOS			P-03	P-04
PARAMETROS FISICO-QUIMICOS		Ph	6.96	7.55
		C.E. (uS/cm)	6510	9028
		SDT (ppm)	6594	9194
		Alcalinidad (ppm)	109.7	137.05
PARAMETROS QUIMICOS	CATIONES ppm	Calcio (Ca^{2+})	152	235.6
		Magnesio (Mg^{2+})	32.2	50.6
		Sodio (Na^{+})	1092	1506
		Potasio (K^{+})	78.2	144.2
	ANIONES ppm	Cloruros (Cl^{-})	1820	2660
		Sulfatos (SO_4^{2-})	2840	4372
		Nitratos (NO_3^{-})	210	196.6
		Bicarbonatos (HCO_3^{-})	133.8	167.21

Figura 108

Muestreo de Agua frías del punto 03 y punto 04 de la microcuenca de Joctopuquio



Figura 109 *Mapa de Ubicación de puntos de muestreo de agua.*



Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

5.4.2 PARAMETROS FISICO-QUIMICOS

Los parámetros físico-químicos de los puntos de muestreo están representados en la sección de Anexos.

POTENCIAL DE HIDROGENIONES (PH)

- **Manante**

Los resultados que se muestran en la tabla …. Indican que las aguas tienden a ser ligeramente básicas.

Tabla 66

Medición de PH en el punto 01 y punto 02 en la microcuenca de Joctopuquio

PUNTOS	FECHA	CORDENADAS UTM		pH
		ESTE	NORTE	
1	13/04/2026	190987.875	8501142.128	7.53
2	13/04/2026	190819.648	8500978.829	7.30

- **Cauce del rio**

Los datos de pH para el punto P-3 son de 6.69 lo que nos indica que es agua ligeramente acida y el punto P-4 que tiene valor de 7.55 es ligeramente básica.

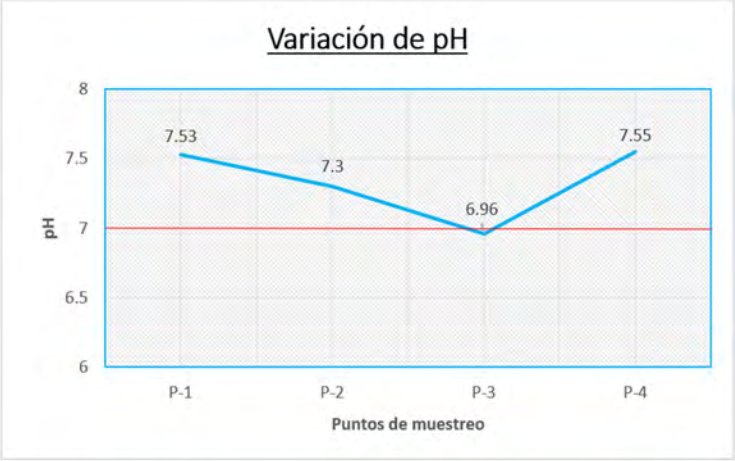
Tabla 67

Medición de PH en el punto 03 y punto 04 en la microcuenca de Joctopuquio

PUNTOS	FECHA	CORDENADAS UTM		pH
		ESTE	NORTE	
3	13/04/2026	190655.834	8500596.718	6.69
4	13/04/2026	190672.562	8500012.253	7.55

Figura 110

Histograma comparativo de los valores de PH de la microcuenca de Joctopuquio



CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica está relacionada con la mineralización del agua por la presencia de sales disueltos lo que le hace posible conducir corriente eléctrica**Fuente especificada no válida.**.

- **Manante**

Los puntos P-1 y P-2 tienen valores de 194.2 y 198 uS/cm lo que nos indica poca presencia de sales iónicas disueltas.

Tabla 68

Medición de Conductividad Eléctrica en el punto 01 y punto 02 en la microcuenca de Joctopuquio

PUNTOS	FECHA	CORDENADAS UTM		CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (uS/cm)
		ESTE	NORTE	
1	13/04/2026	190987.875	8501142.128	194.20
2	13/04/2026	190819.648	8500978.829	198.00

- **Cauce del rio**

Los puntos P-3 y P-4 tienen valores de 6510 y 9028 uS/cm lo que indica una alta presencia de minerales disueltos ya sea por contaminación o por disolución de sales minerales de las rocas.

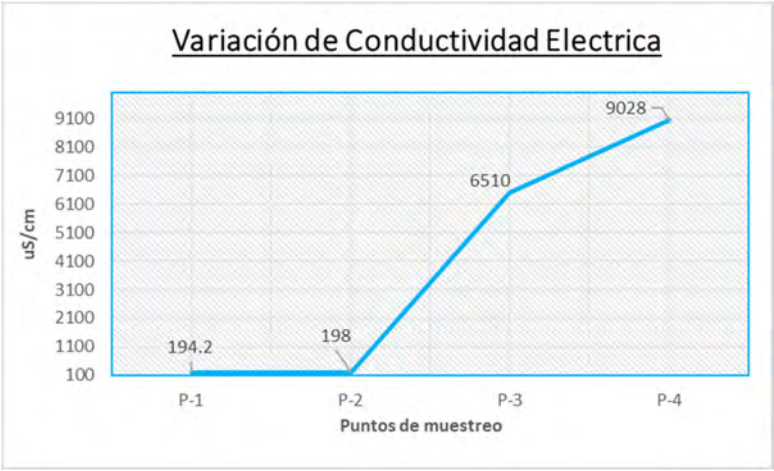
Tabla 69

Medición de Conductividad Eléctrica en el punto 03 y punto 04 en la microcuenca de Joctopuquio

PUNTOS	FECHA	CORDENADAS UTM		CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (uS/cm)
		ESTE	NORTE	
3	13/04/2026	190655.834	8500596.718	6510.00
4	13/04/2026	190672.562	8500012.253	9028.00

Figura 111

Histograma comparativo de los valores de Conductividad Eléctrica de la microcuenca de Joctopuquio



TOTAL, DE SOLIDOS DISUELTOS

Este parámetro nos da la cantidad total de sustancias inorgánicas y orgánicas disueltas en el agua, tales como sales minerales, iones y pequeñas cantidades de material orgánico **Fuente especificada no válida.**.

- **Manante**

Los puntos P-1 y P-2 presenta 112.8 y 117.30 ppm de solidos disueltos que nos indican poca concentración de sales disueltas como cloruros, sulfatos, carbonatos entre otros.

Tabla 70

Medición de SDT en el punto 01 y punto 02 en la microcuenca de Joctopuquio

PUNTOS	FECHA	CORDENADAS UTM		SDT
		ESTE	NORTE	(ppm)
1	13/04/2026	190987.875	8501142.128	112.80
2	13/04/2026	190819.648	8500978.829	117.30

- **Cauce del rio**

Los puntos P-3 y P-24 presenta 6594 y 9194 ppm de solidos disueltos que nos indica una alta concentración de sales disueltas como cloruros, sulfatos, carbonatos entre otros estos debido a la contaminación antrópica.

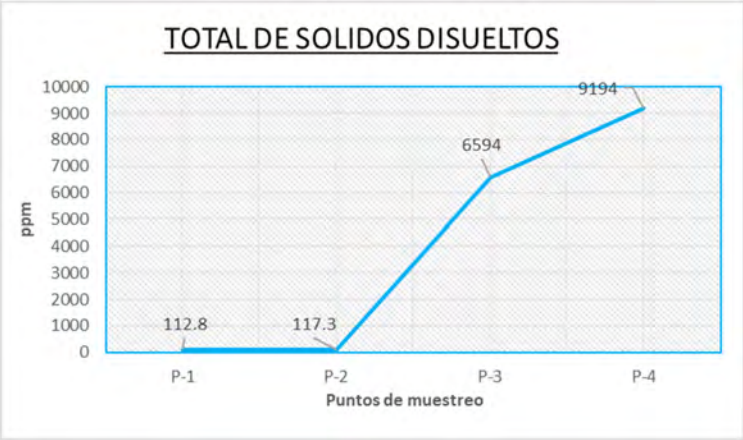
Tabla 71

Medición de SDT en el punto 03 y punto 04 en la microcuenca de Joctopuquio

PUNTOS	FECHA	CORDENADAS UTM		SDT
		ESTE	NORTE	(ppm)
3	13/04/2026	190655.834	8500596.718	6594.00
4	13/04/2026	190672.562	8500012.253	9194.00

Figura 112

Histograma comparativo de los valores de Total de Solidos Disueltos de la microcuenca de Joctopuquio



5.4.3 PARAMETROS QUIMICOS

Los resultados químicos obtenidos a través de los ensayos en laboratorio se muestran en la Tabla 72.

- **Manantiales**

Tabla 72

Resultados de los Parámetros Químicos de la muestra P-01 en la microcuenca de Joctopuquio

Muestra P-1						
	ELEMENTOS	**Peso Equivalente**	**Carga del Ion**	**ppm**	**meq/L**	**Alcalinidad ppm**
Cationes	Calcio (Ca^{2+})	20.00	2	33.44	1.672	
	Magnesio (Mg^{2+})	12.15	2	5.52	0.454	
	Sodio (Na^{+})	23.00	1	2.7	0.117	
	Potasio (K^{+})	39.00	1	0.1	0.003	
Aniones	Cloruros (Cl^{-})	35.45	1	4.55	0.128	73.44
	Sulfatos (SO_4^{2-})	48.00	2	12.4	0.258	
	Nitratos (NO_3^{-})	62.00	1	12.1	0.195	
	Bicarbonatos (HCO_3^{-})	61.00	1	89.6	1.469	

Tabla 73

Resultados de los Parámetros Químicos de la muestra P-02 en la microcuenca de Joctopuquio

	Muestra P-2					
	ELEMENTOS	**Peso Equivalente**	**Carga del Ion**	**ppm**	**meq/L**	**Alcalinidad ppm**
Cationes	Calcio (Ca^{2+})	20.00	2	34.2	1.710	
	Magnesio (Mg^{2+})	12.15	2	4.14	0.341	
	Sodio (Na^{+})	23.00	1	2.3	0.100	
	Potasio (K^{+})	39.00	1	0.1	0.003	
Aniones	Cloruros (Cl^{-})	35.45	1	3.85	0.109	68.63
	Sulfatos (SO_4^{2-})	48.00	2	14.6	0.304	
	Nitratos (NO_3^{-})	62.00	1	10.3	0.166	
	Bicarbonatos (HCO_3^{-})	61.00	1	83.73	1.373	

- **Cauce de rio**

Tabla 74

Resultados de los Parámetros Químicos de la muestra P-03 en la microcuenca de Joctopuquio

	Muestra P-3					
	ELEMENTOS	**Peso Equivalente**	**Carga del Ion**	**ppm**	**meq/L**	**Alcalinidad ppm**
Cationes	Calcio (Ca^{2+})	20.00	2	152	7.600	
	Magnesio (Mg^{2+})	12.15	2	32.2	2.650	
	Sodio (Na^{+})	23.00	1	1092	47.478	
	Potasio (K^{+})	39.00	1	78.2	2.005	
Aniones	Cloruros (Cl^{-})	35.45	1	1820	51.340	109.7
	Sulfatos (SO_4^{2-})	48.00	2	2840	59.167	
	Nitratos (NO_3^{-})	62.00	1	210	3.387	
	Bicarbonatos (HCO_3^{-})	61.00	1	133.8	2.193	

Tabla 75

Resultados de los Parámetros Químicos de la muestra P-04 en la microcuenca de Joctopuquio

Muestra P-4						
	ELEMENTOS	**Peso Equivalente**	**Carga del Ion**	**ppm**	**meq/L**	**Alcalinidad ppm**
Cationes	Calcio (Ca^{2+})	20.00	2	235.6	11.780	
	Magnesio (Mg^{2+})	12.15	2	50.6	4.165	
	Sodio (Na^{+})	23.00	1	1506	65.478	
	Potasio (K^{+})	39.00	1	144.2	3.697	
Aniones	Cloruros (Cl^{-})	35.45	1	2660	75.035	137.05
	Sulfatos (SO_4^{2-})	48.00	2	4372	91.083	
	Nitratos (NO_3^{-})	62.00	1	196.6	3.171	
	Bicarbonatos (HCO_3^{-})	61.00	1	167.21	2.741	

5.4.4 BALANCE IÓNICO

El balance iónico es un método de control en el análisis de resultados del agua, usando el principio de electroneutralidad del agua, donde indica que la suma de cationes debe ser igual a la suma de aniones estos expresados en meq/L **Fuente especificada no válida.**. El porcentaje de error se analiza según las siguientes características:

- ±5% → excelente
- ±5 a ±10% → aceptable
- ±10% → posible error analítico

$$Error = \frac{\sum aniones - \sum cationes}{\sum aniones + \sum cationes} \times 100$$

- **Manantes**

Los resultados de las muestras P-1 y P-2 muestran porcentajes de -4.55% y -4.92% lo que nos indica que los resultados de laboratorio son confiables para el respectivo análisis químico.

Tabla 76

Resultados de los Balance Iónico de la muestra P-01 en la microcuenca de Joctopuquio

Muestra P-1			
∑cationes	**∑aniones**	**∑aniones - ∑cationes**	**%Error**
2.246	2.051	-0.196	-4.55

Tabla 77

Resultados de los Balance Iónico de la muestra P-02 en la microcuenca de Joctopuquio

Muestra P-2			
∑cationes	**∑aniones**	**∑aniones - ∑cationes**	**%Error**
2.153	1.952	-0.202	-4.92

- **Cauce de rio**

Los puntos P-3 y P-4 al ser muestras afectadas por acciones antrópicas (contaminación) se obtuvieron valores muy por encima de lo óptimo, estos resultados pueden atribuirse a cationes no ensayados en laboratorio tales como hierro (Fe^{2+}), amonio (NH_4^+), manganeso (Mn^{2+}) y entre otros iones de poco porcentaje ya que estos no fueron calculados en el balance iónico, por lo que evidencia la influencia de la acción humana sobre los recursos hídricos alterando su composición inicial.

Tabla 78

Resultados de los Balance Iónico de la muestra P-03 en la microcuenca de Joctopuquio

Muestra P-3			
∑cationes	**∑aniones**	**∑aniones - ∑cationes**	**%Error**
59.734	116.087	56.354	32.05

Tabla 79

Resultados de los Balance Iónico de la muestra P-04 en la microcuenca de Joctopuquio

Muestra P-4			
∑cationes	**∑aniones**	**∑aniones - ∑cationes**	**%Error**
85.120	172.031	86.910	33.80

5.4.5 DIAGRAMAS HIDROQUÍMICOS

En la clasificación se utilizó tres diagramas para clasificar las aguas subterráneas y superficiales; que nos permitirán analizar la composición química del agua y la predominancia de aniones y cationes mayoritario en cada punto de muestreo, mediante los diagramas de Stiff, Pipper y el diagrama logarítmico de potabilidad de Schoeller. Por lo que se hará uso de los siguientes datos de la tabla 80.

Tabla 80

Resumen de Parámetros químicos (meq/L) en la microcuenca de Joctopuquio

Muestra	Tipo de fuente	Calcio (Ca^{2+})	Magnesio (Mg^{2+})	Sodio (Na^{+})	Potasio (K^{+})	Sulfatos (SO_4^{2-})	Nitratos (NO_3^{-})	Bicarbonatos (HCO_3^{-})
P-1	Manantial captado	1.672	0.454	0.117	0.003	0.258	0.195	1.469
P-2	Manantial	1.710	0.341	0.100	0.003	0.304	0.166	1.373
P-3	Cauce	7.600	2.650	47.478	2.005	59.167	3.387	2.193
P-4	Cauce	11.780	4.165	65.478	3.697	91.083	3.171	2.741

A. DIAGRAMA DE STIFF

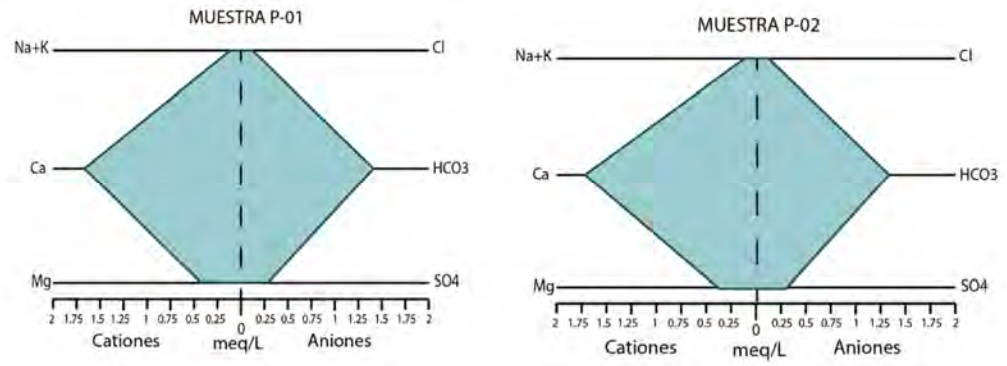
El diagrama de Stiff se representa mediante una gráfica compuesta por 3 líneas paralelas horizontales cortados por una recta vertical que divide en dos partes; la parte del lado izquierdo para los cationes y en el lado derecho para los aniones.

ANÁLISIS MEDIANTE EL DIAGRAMA DE STIFF

- **Manantes**

Figura 113

Diagraman de Sttiff para las muestras P-01 y P-02 en la microcuenca de Joctopuquio

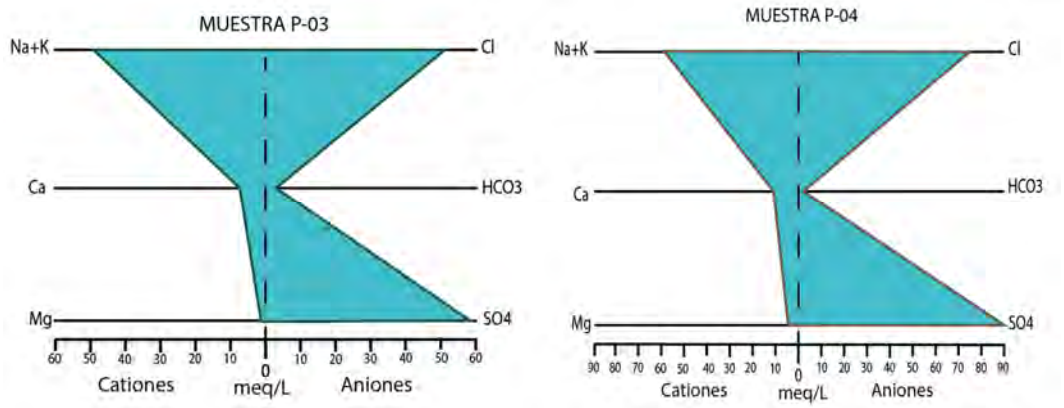


El análisis de los diagramas de las muestras P-1 y P-2 según el diagrama de Stiff se observa una predominancia de calcio y bicarbonato esta nos indica una facie bicarbonatada cálcica, es característico de aguas subterráneas recientes y baja influencia de contaminación salina.

- **Cauce de rio**

Figura 114

Diagraman de Sttiff para la muestra P-03 y P-04 en la microcuenca de Joctopuquio



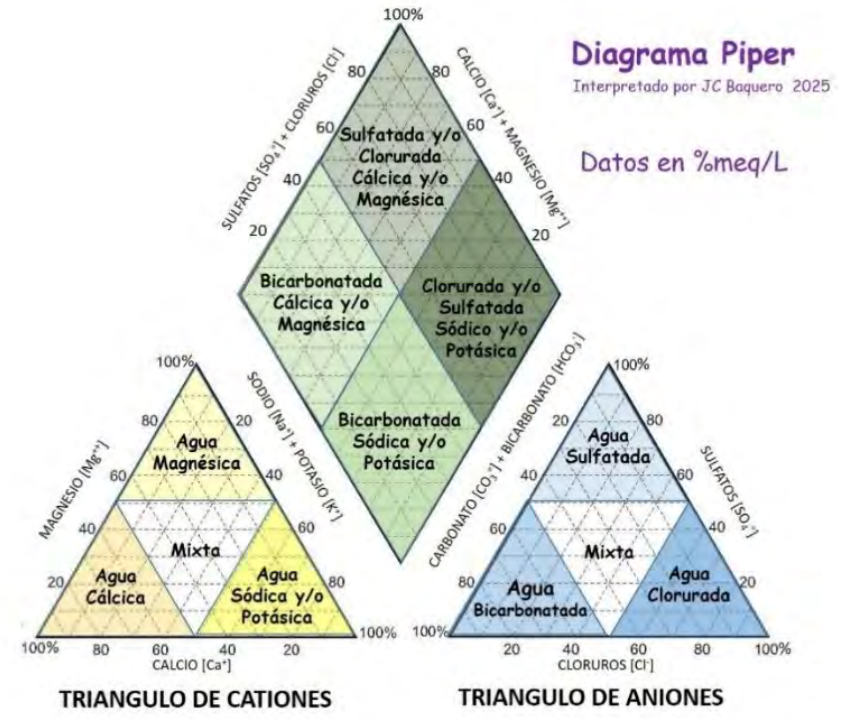
Las gráficas de las muestras P-3 y P-4 muestran aguas muy mineralizadas, según el diagrama de Stiff existe una predominancia en sulfatos, cloruros y también sodio-potasio, ambas graficas pertenecen a una facie de tipo clorurada-sulfatada sódica lo que indica un alto grado de mineralización esto debido a la contaminación antrópica existente.

B. DIAGRAMA DE PIPPER

El diagrama de Pipper nos permite clasificar y evaluar las aguas subterráneas o superficiales según su composición y concentración de aniones y cationes y así identificar las facies y los procesos de interacción entre la roca y agua **Fuente especificada no válida.**.

Figura 115

Diagrama de Pipper para clasificación química de las fuentes de aguas



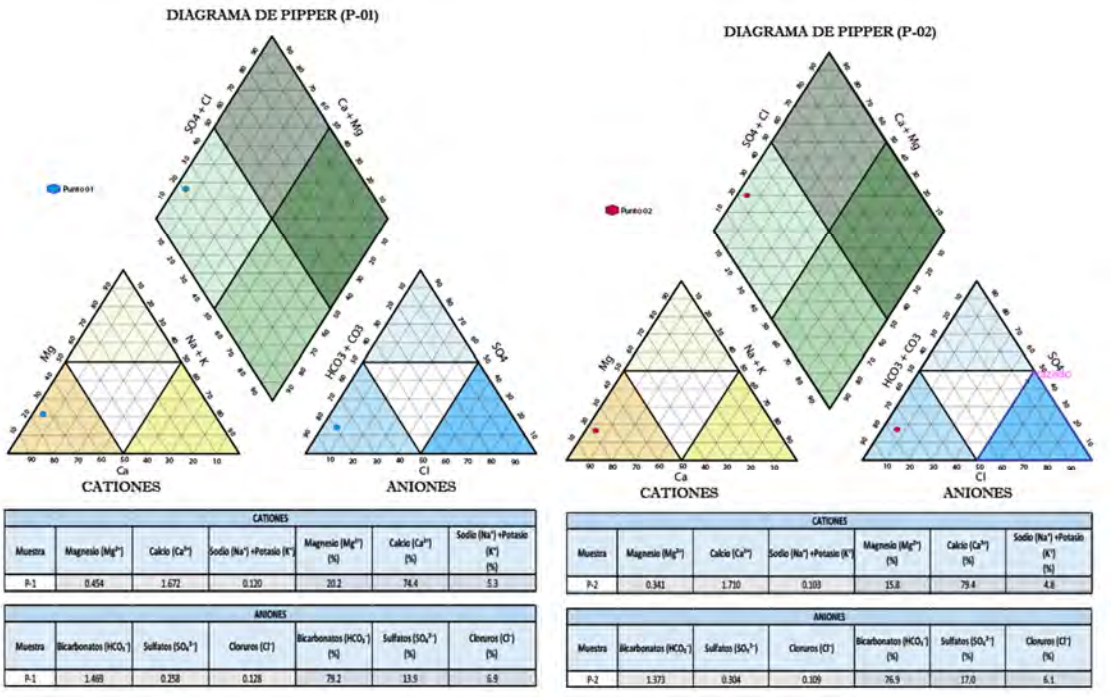
Nota: Adaptado de Martínez Alfaro, P., Martínez Santos P., Castaño Castaño S., (2005). Fundamentos de Hidrogeología. Ediciones Multi prensa. España.

ANÁLISIS MEDIANTE EL DIAGRAMA DE PIPPER

- Manantes

Figura 116

Diagrama de Pipper de las fuentes hídricas de los puntos P -01 y P-02 microcuenca de Joctopuquio



CATIONES						
Muestra	Magnesio (Mg^{2+})	Calcio (Ca^{2+})	Sodio (Na^{+}) +Potasio (K^{+})	Magnesio (Mg^{2+}) (%)	Calcio (Ca^{2+}) (%)	Sodio (Na^{+}) +Potasio (K^{+}) (%)
P-1	0.454	1.672	0.120	20.2	74.4	5.3

ANIONES						
Muestra	Bicarbonatos (HCO_3^{-})	Sulfatos (SO_4^{2-})	Cloruros (Cl^{-})	Bicarbonatos (HCO_3^{-}) (%)	Sulfatos (SO_4^{2-}) (%)	Cloruros (Cl^{-}) (%)
P-1	1.469	0.258	0.128	79.2	13.9	6.9

CATIONES						
Muestra	Magnesio (Mg^{2+})	Calcio (Ca^{2+})	Sodio (Na^{+}) +Potasio (K^{+})	Magnesio (Mg^{2+}) (%)	Calcio (Ca^{2+}) (%)	Sodio (Na^{+}) +Potasio (K^{+}) (%)
P-2	0.341	1.710	0.103	15.8	79.4	4.8

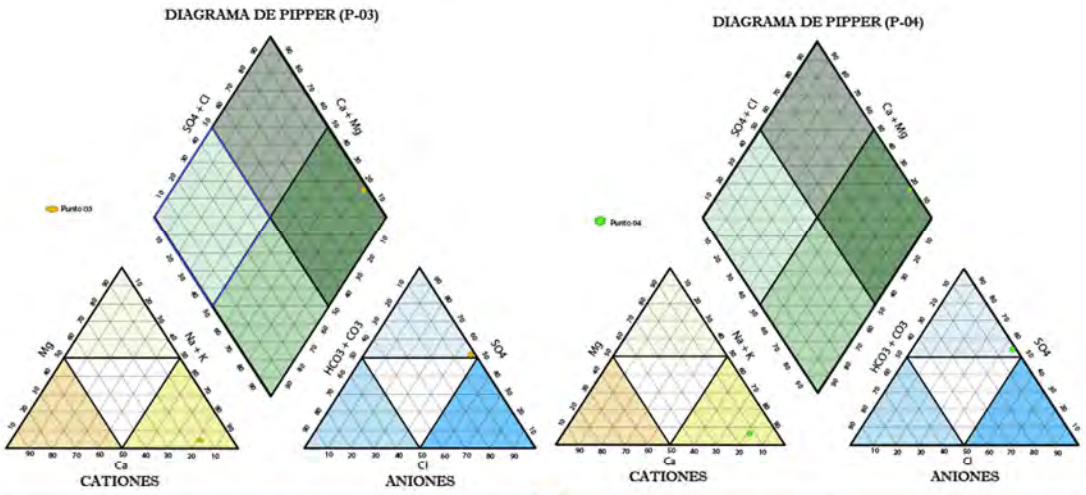
ANIONES						
Muestra	Bicarbonatos (HCO_3^{-})	Sulfatos (SO_4^{2-})	Cloruros (Cl^{-})	Bicarbonatos (HCO_3^{-}) (%)	Sulfatos (SO_4^{2-}) (%)	Cloruros (Cl^{-}) (%)
P-2	1.373	0.304	0.109	76.9	17.0	6.1

En los dos puntos P-1 y P-2 el resultado según el diagrama de Pipper indica que pertenecen a aguas bicarbonatadas cálcicas, propias de aguas de baja mineralización típica de manantes, ambos puntos muestran semejanza en sus características hidrogeoquímica que nos indica el mismo sistema de flujo o fuente.

- Cauce del rio

Figura 117

Diagrama de Pipper de las fuentes hídricas de los puntos P -03 y P-04 microcuenca de Joctopuquio



CATIONES						
Muestra	Magnesio (Mg^{2+})	Calcio (Ca^{2+})	Sodio (Na^{+}) +Potasio (K^{+})	Magnesio (Mg^{2+}) (%)	Calcio (Ca^{2+}) (%)	Sodio (Na^{+}) +Potasio (K^{+}) (%)
P-3	2.650	7.600	49.483	4.4	12.7	82.8

ANIONES						
Muestra	Bicarbonatos (HCO_3^{-})	Sulfatos (SO_4^{2-})	Cloruros (Cl^{-})	Bicarbonatos (HCO_3^{-}) (%)	Sulfatos (SO_4^{2-}) (%)	Cloruros (Cl^{-}) (%)
P-3	2.193	59.167	53.340	1.9	52.5	45.6

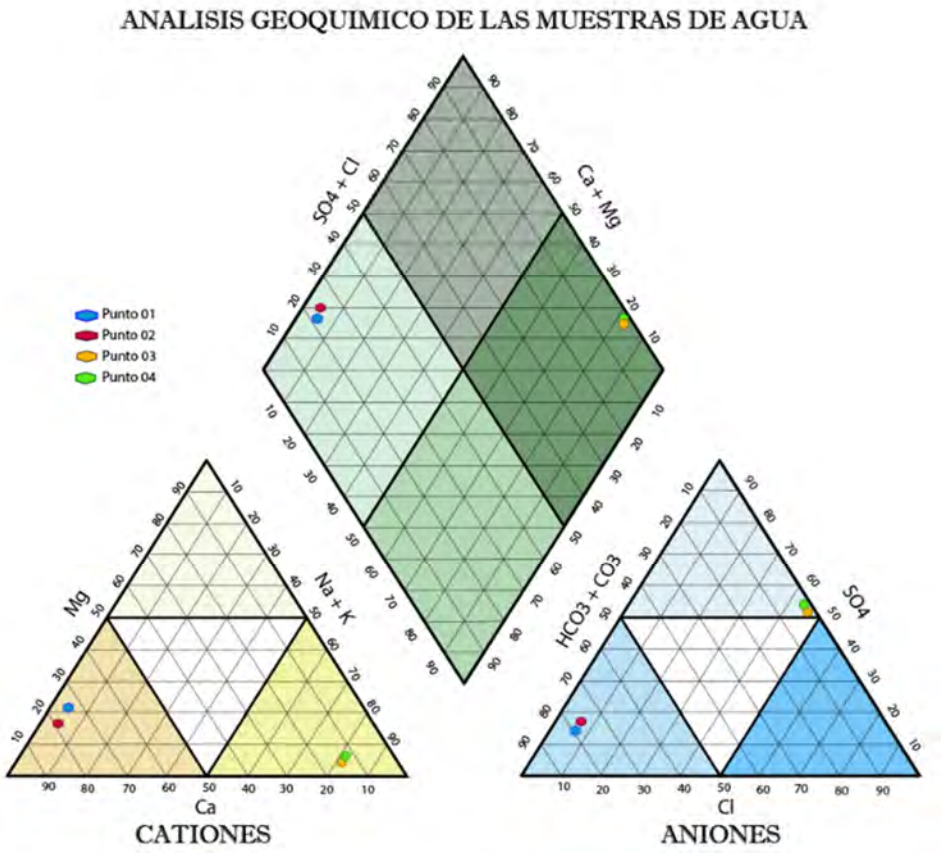
CATIONES						
Muestra	Magnesio (Mg^{2+})	Calcio (Ca^{2+})	Sodio (Na^{+}) +Potasio (K^{+})	Magnesio (Mg^{2+}) (%)	Calcio (Ca^{2+}) (%)	Sodio (Na^{+}) +Potasio (K^{+}) (%)
P-4	4.165	11.780	69.176	4.9	13.8	81.3

ANIONES						
Muestra	Bicarbonatos (HCO_3^{-})	Sulfatos (SO_4^{2-})	Cloruros (Cl^{-})	Bicarbonatos (HCO_3^{-}) (%)	Sulfatos (SO_4^{2-}) (%)	Cloruros (Cl^{-}) (%)
P-4	2.741	91.083	75.035	1.6	53.9	44.4

Los puntos P-3 y P-4 indican una facie sulfatadas-cloruradas con incremento de sodio, donde se observa un aumento en la mineralización del agua por posible influencia antrópica dentro de la cuenca. A comparación de los puntos P-1 y P-2 estas representan aguas más evolucionadas químicamente, muy característico de aguas superficiales mineralizadas con influencia antrópica.

Figura 118

Diagrama de Pipper de las fuentes hídricas de los puntos P -01 y P-02 microcuenca de Joctopuquio

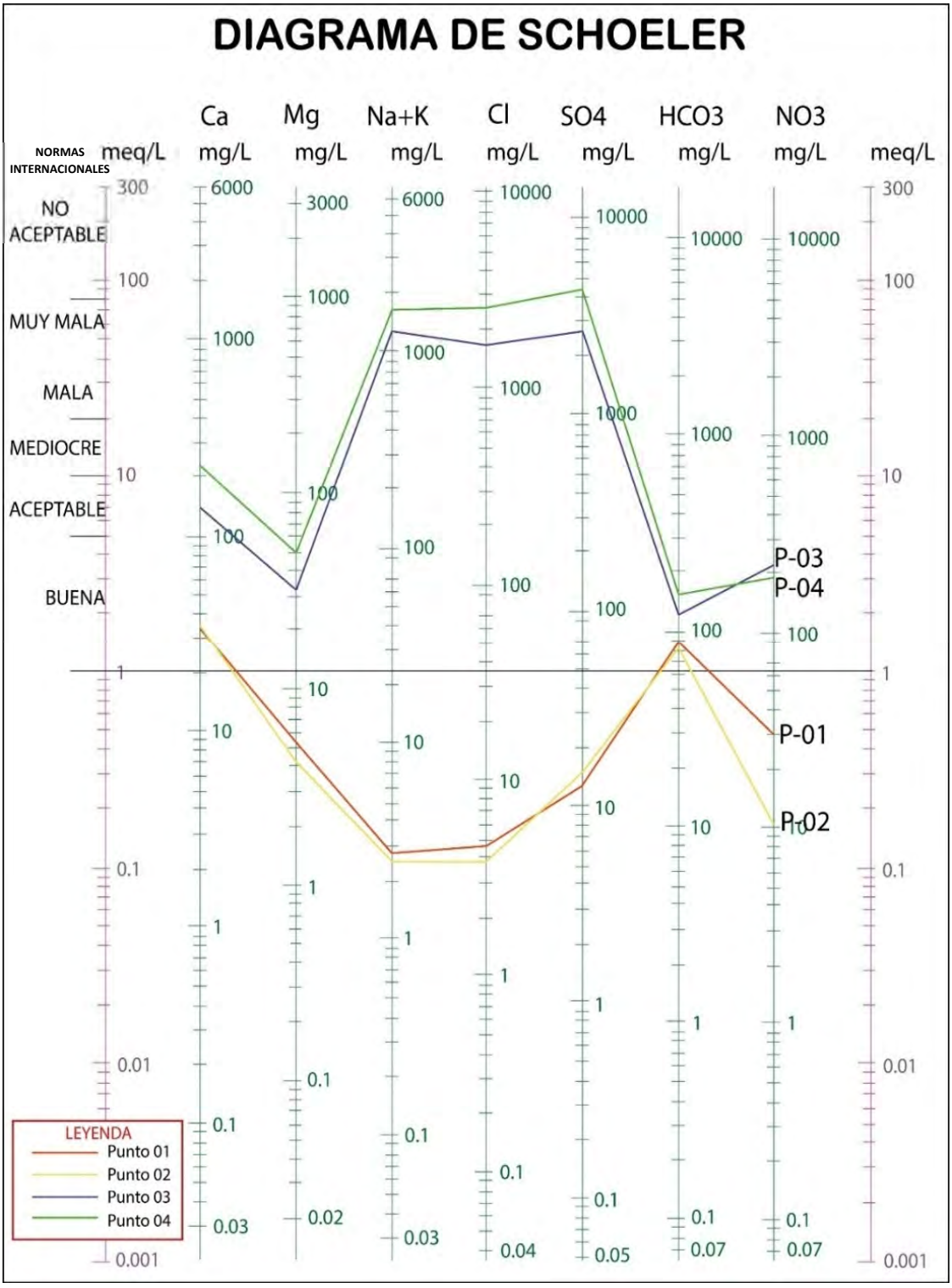


C. DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD

Este diagrama nos permite representar la concentración de iones en (mg/L) a través de escalas logarítmicas, en el diagrama se plasmó los resultados químicos y así definir el grado de potabilidad y a su vez realizar una comparación de aguas entre sí.

Figura 119

Diagrama de Scholler-Berkaloff para la evolución de las fuentes de agua microcuenca de Joctopuquio



Para los puntos P-1 y P-2 los iones Ca, Mg, Na, K, Cl, SO4, HCO3 y NO3 se encuentran dentro del rango de potabilidad “Buena”.

Para las muestras P-3 y P-4 los iones de Ca, Mg, HCO3 y NO3 se encuentran en rangos de “Bueno” a “Mediocre”; los iones Na, K, Cl y SO4 se encuentran en rangos de “Malo” a “Muy malo”.

CAPITULO VI: METODOS DE RECARGA ARTIFICIAL

En este capítulo se propondrá métodos de recarga en depósitos cuaternarios de acuerdo a las características hidrogeológicas analizada, realizando una zonificación de áreas y proponiendo métodos adecuados a esas características del terreno. De tal forma se busca optimizar la infiltración de aguas pluviales en la cuenca de estudio.

6.1 USO DE SUELOS

En la microcuenca de Joctopuquio, el uso actual de suelo está conformado por afloramientos rocosos, praderas naturales, bofedal, bosques densos, bosques ralos y áreas urbanas. Es importante conocer el uso de suelo ya que nos ayuda a conocer las zonas favorables para realizar los métodos de recarga de acuíferos.

AFLORAMIENTOS ROCOSOS

En esta unidad se evidencia afloraciones rocosas de la Formación Kayra, estas áreas están ubicadas en los flancos laterales de la cuenca, con escasa vegetación por falta de suelo y fuerte pendiente. Esta área ocupa 62.73% de toda el área de la cuenca de estudio.

Figura 120

Afloramientos rocosos de la Formación Kayra.



PRADERAS NATURALES

Esta unidad se encuentra ubicada en la cabecera de la cuenca de estudio cubriendo en área de 49.32 Ha que corresponde al 17.64% de toda el área. En esta zona predomina la vegetación como Ichu y algunas variedades de pastos nativos.

Figura 121

Parte alta de la cuenca donde se observa las praderas.



BOFEDAL

Esta unidad se encuentra en la parte baja de la cuenca, cubriendo un área de 0.55 Ha. Esta desempeña un papel importante en la retención de humedad y regulación de la escorrentía.

Figura 122

Vista de bofedales en la parte baja de la microcuenca Joctopuquio.



BOSQUES DENSOS

Esta unidad se caracteriza por la presencia de árboles como el eucalipto (Eucalyptus globulus) distribuidos de manera densa a lo largo de la microcuenca. Esta área tiende a 19.60 ha, que representa el 7.01% de toda el área de la microcuenca.

Figura 123

Bosques densos ubicados en la parte baja de la microcuenca de estudio



BOSQUES RALOS

Esta unidad presenta arboles de eucalipto (Eucalyptus globulus) distribuidos en toda la microcuenca. Comprende un área de 24.45 ha, que representa el 8.74 % del área de toda la microcuenca.

Figura 124

Vista de las laderas con plantas de eucalipto.



AREA URBANA

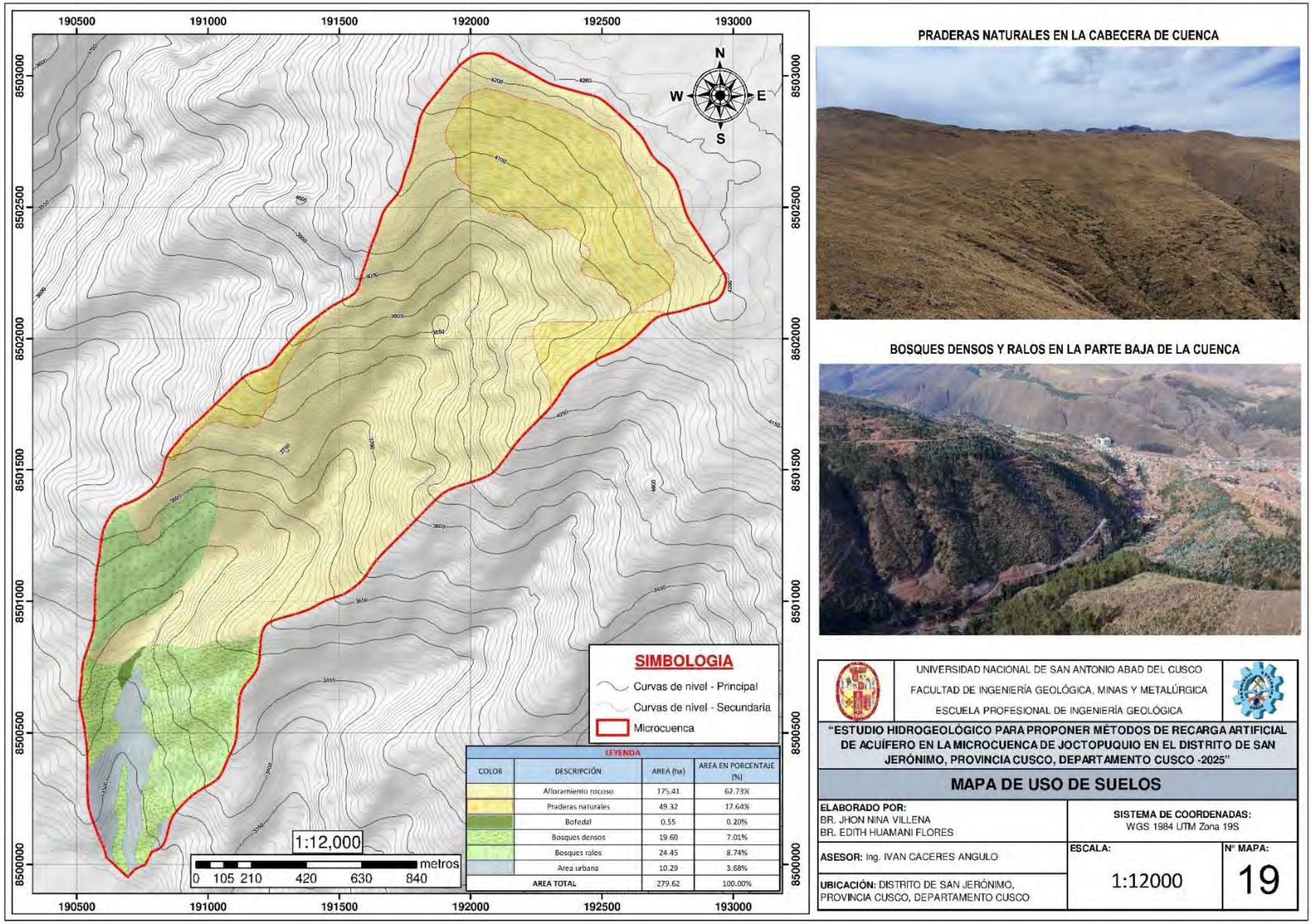
Estas áreas están constituidas por viviendas y construcciones orientadas al desarrollo humano, designadas para albergar a la población, tiene un área de 10.29 ha, que comprende el 3.68 % del área total de la microcuenca.

Figura 125

Vista del crecimiento poblacional en la parte baja de la microcuenca.



Figura 126 *Mapa de Uso de suelos de la microcuenca de Joctopuquio.*



Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

6.2 UBICACIÓN DE AREAS DE RECARGA

Las zonas de recarga estarán ubicadas en la cabecera de la cuenca de estudio, debido a que cuentan con las condiciones de captar las aguas de las precipitaciones pluviales e infiltrar atreves del sub suelo y contribuir al almacenamiento del acuífero.

La cabecera de la cuenca es muy esencial en la recarga natural del acuífero debido a la presencia de depósitos cuaternarios con muy buenas características hidrogeológicas como permeabilidad, porosidad, etc. Debido a estas características los métodos de recarga serán implementados en la cabecera de la microcuenca, por ser un área de importancia en la alimentación del acuífero.

En la cabecera de cuenca se definieron dos áreas para la aplicación de métodos de recarga:

ZONAS DE BAJA-MODERADA PERMEABILIDAD

Estas zonas corresponden a depósitos eluviales, en estas áreas se propone la reforestación con plantas nativas con el fin de aumentar la infiltración, reducir la escorrentía y la erosión del suelo, incrementando la recarga hídrica y mejorando la protección de los recursos hídricos.

ZONAS DE MODERADA PERMEABILIDAD

Estas zonas corresponden a depósitos deluviales, en estas áreas se implementará zanjas de infiltración, con el fin de retener e infiltrar el agua de las precipitaciones al sub suelo, mejorando la recarga hídrica y disminuyendo la perdida de agua por escorrentía superficial.

6.3 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL

Con el propósito de determinar los métodos de recarga artificial que pueda implementarse en la microcuenca de Joctopuquio, se evaluaron diferentes alternativas teniendo en cuenta las características hidrogeológicas y topográficas de la microcuenca.

La microcuenca de estudio presenta un relieve montañoso con pendientes pronunciadas y con escasas áreas favorables para la recarga. Estas condiciones limitan la aplicación de algunos métodos de recarga tal como se encuentra en la siguiente tabla 81:

Tabla 81

Selección de Métodos de Recarga

MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL	VIABILIDAD	CONDICIÓN HIDROGEOLÓGICA REQUERIDA
Reforestación con especies nativas	SI	Se puede aplicar en zonas de baja permeabilidad y con requerimiento de agua bajo; mejora la infiltración, reduce la escorrentía superficial y favorece en la conservación de la humedad del suelo.
Zanjas de infiltración	SI	Se adaptan a las condiciones topográficas de la microcuenca siguiendo las curvas de nivel; permiten incrementar la infiltración del agua de lluvia hacia el acuífero.
Amunas	NO	Se requiere fuentes de manantiales que puedan ser conducidos hacia zonas de alta permeabilidad favoreciendo la recarga del acuífero.
Estanques de infiltración	NO	Se requieren superficies amplias y relativamente planas, condiciones que no predominan en la microcuenca.
Pozos de inyección	NO	Su construcción demanda elevados costos y condiciones hidrogeológicas específicas que no fueron identificadas en el área de estudio.
Diques o presas de recarga	SI	La topografía accidentada y la limitada disponibilidad de espacios dificulta su construcción, sin embargo, podría utilizarse material del lugar para su construcción.
Canales de infiltración	NO	Se requiere una fuente constate de agua, pendientes suaves para distribuir uniformemente el agua y favorecer la infiltración.
Riego por inundación	NO	No existen áreas agrícolas extensas y planas que permitan aplicar este método de manera eficiente.

De acuerdo con la evaluación realizada, se determinó que la reforestación con especies nativas y las zanjas de infiltración constituyen los métodos más apropiados para la microcuenca

de Joctopuquio, debido a su compatibilidad con las condiciones hidrogeológicas y topográficas del área de estudio.

La reforestación fue propuesta como un método de recarga indirecta en sectores con baja permeabilidad, donde la cobertura vegetal contribuye a reducir la escorrentía superficial, proteger el suelo frente a la erosión y favorecer la infiltración del agua hacia el subsuelo.

Las zanjas de infiltración fueron propuestas como método de recarga directa en los sectores con mayor capacidad de infiltración, permitiendo captar el agua de escorrentía e incrementar la recarga del acuífero mediante la infiltración controlada.

Asimismo, las amunas representan una alternativa complementaria que podría evaluarse en futuras investigaciones. Esta técnica ancestral consiste en derivar parte del agua superficial hacia zonas de alta infiltración para favorecer la recarga del acuífero. Bajo condiciones geológicas e hidrogeológicas favorables, su implementación podría incrementar el caudal de manantiales existentes y, eventualmente, favorecer la aparición de nuevos puntos de descarga; sin embargo, este comportamiento depende de la conectividad hidráulica del acuífero.

En consecuencia, para el presente estudio se seleccionan como propuesta principal la reforestación con especies nativas y las zanjas de infiltración, por ser las alternativas más viables, ambientalmente sostenibles y compatibles con las condiciones naturales de la microcuenca, contribuyendo al fortalecimiento de la recarga artificial del acuífero y a la conservación del recurso hídrico.

6.4 DISEÑO DE METODOS DE RECARGA

Estos métodos están orientados al aumento de la infiltración de las aguas en el sub suelo, y reducir las pérdidas por la escorrentía superficial.

En la zona de estudio se propone realizar la recarga mediante dos métodos siguientes:

6.4.1 ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Para el diseño de las zanjas de infiltración se tiene que tomar en cuenta la precipitación máxima que puede darse en un día por lo que se realiza los siguientes cálculos:

Se obtuvo las precipitaciones máximas según registros históricos de la estación Kayra, ya que esta estación se encuentra más cercana a nuestra microcuenca de estudio.

Tabla 82

Precipitaciones máximas tomados por la estación Kayra.

N°	Año	Precipitaciones máximas
1	1996	31.3
2	1997	47.0
3	1998	35.9
4	1999	19.3
5	2000	25.5
6	2001	31.0
7	2002	26.7
8	2003	39.1
9	2004	30.8
10	2005	27.8
11	2006	51.6
12	2007	32.9
13	2008	27.9
14	2009	27.8
15	2010	41.2
16	2011	29.8
17	2012	39.5
18	2013	27.2
19	2014	35.5
20	2015	38.3
21	2016	24.2
22	2017	24.9
23	2018	33.9
24	2019	34.3
25	2020	26.7
26	2021	30.4
27	2022	33.5
28	2023	32.4

29	2024	29.0
30	2025	22.8
SUMA DE PRESIPITACIONES MAXIMOS		958.2
PROMEDIO DE PRESIPITACIONES MAXIMOS		31.940
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_Q)		7.021

A. Para el análisis de precipitaciones se toma en cuenta el método estadístico de Gumbel donde se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla de valores media reducida ($\bar{Y}N$) y desviación estándar reducida (σN)

Figura 127

Tabla de valores media reducida ($\bar{Y}N$) y desviación estándar reducida (σN)

Valores de $\bar{Y}_N$ y σ_N en función de N

N	$\bar{Y}_N$	σ_N	N	$\bar{Y}_N$	σ_N
8	0.4843	0.9043	49	0.5481	1.1590
9	0.4902	0.9288	50	0.54854	1.16066
10	0.4952	0.9497	51	0.5489	1.1623
11	0.4996	0.9676	52	0.5493	1.1638
12	0.5053	0.9833	53	0.5497	1.1653
13	0.5070	0.9972	54	0.5501	1.1667
14	0.5100	1.0095	55	0.5504	1.1681
15	0.5128	1.02057	56	0.5508	1.1696
16	0.5157	1.0316	57	0.5511	1.1708
17	0.5181	1.0411	58	0.5515	1.1721
18	0.5202	1.0493	59	0.5518	1.1734
19	0.5220	1.0566	60	0.55208	1.17467
20	0.52355	1.06283	62	0.5527	1.1770
21	0.5252	1.0696	64	0.5533	1.1793
22	0.5268	1.0754	66	0.5538	1.1814
23	0.5283	1.0811	68	0.5543	1.1834
24	0.5296	1.0864	70	0.55477	1.18536
25	0.53086	1.09145	72	0.5552	1.1873
26	0.5320	1.0961	74	0.5557	1.1890
27	0.5332	1.1004	76	0.5561	1.1906
28	0.5343	1.1047	78	0.5565	1.1923
29	0.5353	1.1086	80	0.55688	1.19382
30	0.53622	1.11238	82	0.5572	1.1953
31	0.5371	1.1159	84	0.5576	1.1967
32	0.5380	1.1193	86	0.5580	1.1980
33	0.5388	1.1226	88	0.5583	1.1994

Para 30 datos se usa las constantes:

Figura 128

Tabla de valores para 30 datos media reducida ($\bar{Y}N$) y desviación estándar reducida (σN)

COEFICIENTES σ_N, $\bar{Y}N$	
$\bar{Y}N$	0.536
σ_N	1.112

Se obtuvo las precipitaciones máximas de retorno para diferentes años:

Tabla 83

Precipitaciones máximas según los periodos de retorno.

Periodo de retorno	PP MAX en 24 horas
2	33.19
5	42.24
10	48.58
15	52.20
20	54.74

Tabla 84

Tabla de precipitaciones máximas de la Estación Kayra

Coef. De duración		0.26	0.4	0.53	0.7	0.86	1	1.41
Periodo de retorno (Años)	Precipitación máxima en 24 horas	TIEMPO						
		5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
2	33.19	1.76	2.71	3.59	4.74	5.83	6.77	9.55
5	42.24	2.24	3.45	4.57	6.03	7.41	8.62	12.15
10	48.58	2.58	3.97	5.25	6.94	8.53	9.91	13.98
15	52.20	2.77	4.26	5.65	7.46	9.16	10.65	15.02
20	54.74	2.90	4.47	5.92	7.82	9.61	11.17	15.75

Tabla 85

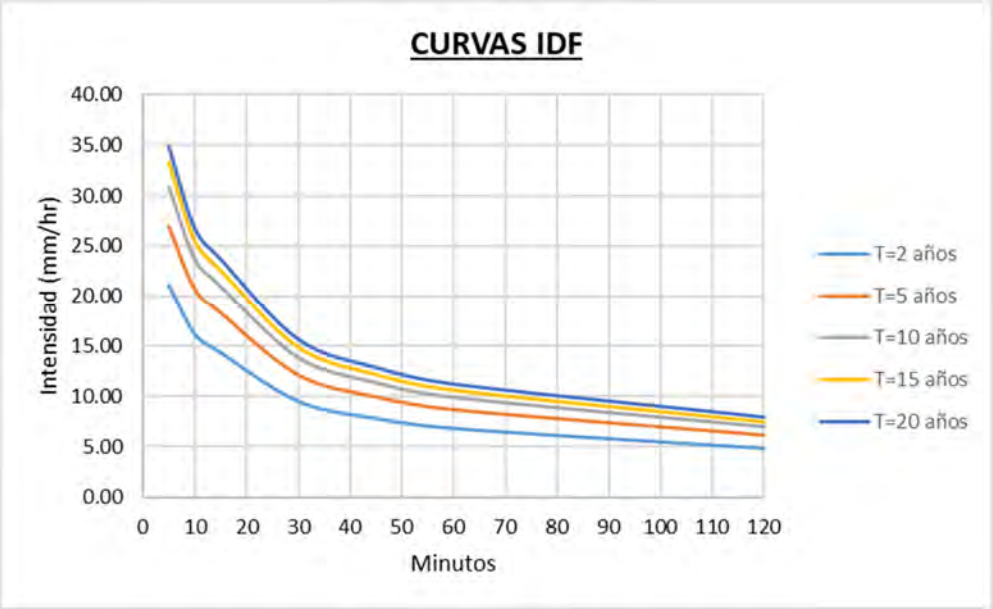
Tabla de intensidades máximas (mm/h) de la Estación Kayra

Coef. De duración		0.26	0.4	0.53	0.7	0.86	1	1.41
Periodo de retorno	PP MAX en 24 horas	TIEMPO						
		5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
2	33.19	21.14	16.22	14.36	9.48	7.77	6.77	4.78
5	42.24	26.91	20.65	18.28	12.07	9.88	8.62	6.08
10	48.58	30.94	23.75	21.02	13.88	11.37	9.91	6.99
15	52.20	33.25	25.52	22.58	14.91	12.22	10.65	7.51

20	54.74	34.87	26.76	23.68	15.64	12.81	11.17	7.88

Figura 129

Curvas de intensidad, duración y frecuencia.



B. Dimensionamiento de las zanjas de infiltración

Figura 130

Esquema de las dimensiones transversal de la zanja de infiltración

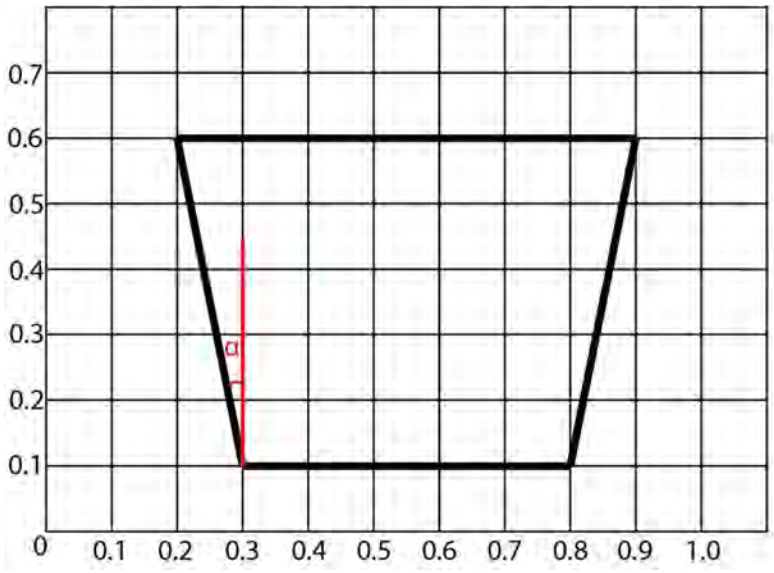


Tabla 86

Dimensiones de las zanjas de infiltración.

Ancho Inferior (m)	Ancho Superior (m)	Altura (m)	Angulo (°)	Longitud de cada zanja (m)	AREA TRANSVERSAL (m^2)
0.5	0.7	0.5	11.31°	10	0.30

Para el cálculo de la distancia entre zanjas de infiltración para un periodo de retorno de 10 años se consideró según (Sangüesa Pool, Pizarro Tapia, & Mendoza Mendoza, 2021) con la siguiente formula:

$$d_h = \frac{b * (h + v) + h^2\, tg\alpha}{I * e}$$

d_h = Distancia entre zanjas

b = Longitud de base (0.5 m)

h = Altura de zanja (0.5 m)

v = velocidad de infiltración (v = 0.11 m/h)

I = Intensidad de precipitación (para un periodo de retorno de 10 años PP= 48.58 mm/h)

e = Coeficiente de escorrentía (e=0.25)

d_h=29 metros

Considerando los criterios técnicos para la construcción de zanjas del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), se consideró el siguiente cuadro para la distribución de zanjas:

Figura 131

Distancia entre zanjas en función a la cobertura vegetal y pendiente.

COBERTURA VEGETAL	PENDIENTE DEL TERRENO (%)	DITANCIA ENTRE ZANJAS (m)
SIN	10	30
	15	20
	20	15
	25	13
	30	11
CON	10	45
	15	30
	20	23
	25	20
	30	17
	35	14
	40	12

Nota: Cartilla para la conservación de suelos (MINAGRI, 2014)

De acuerdo a los cálculos realizados se tiene la siguiente imagen para la distribución de cada zanja:

Figura 132

Vista de perfil de la distribución y dimensión de la zanja de infiltración.

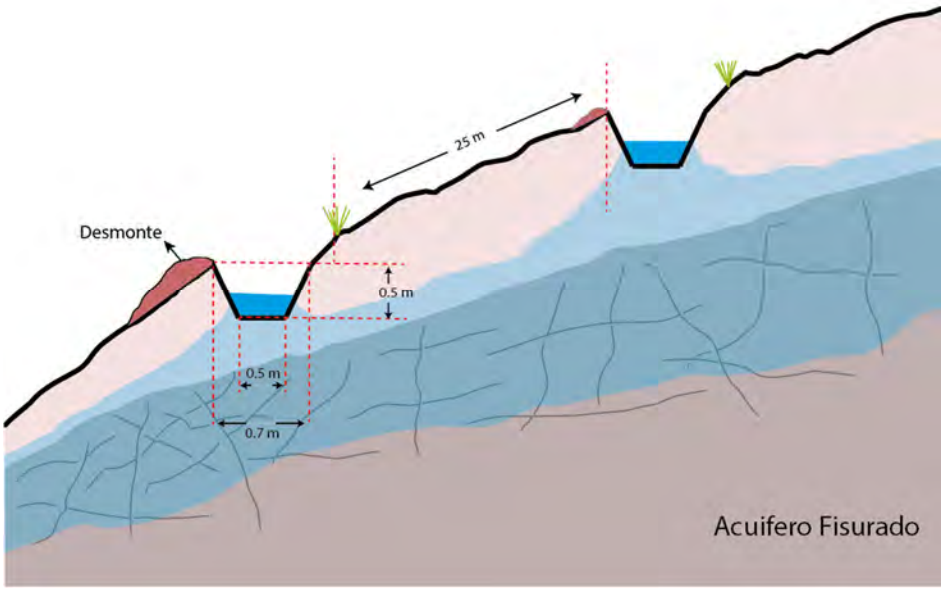
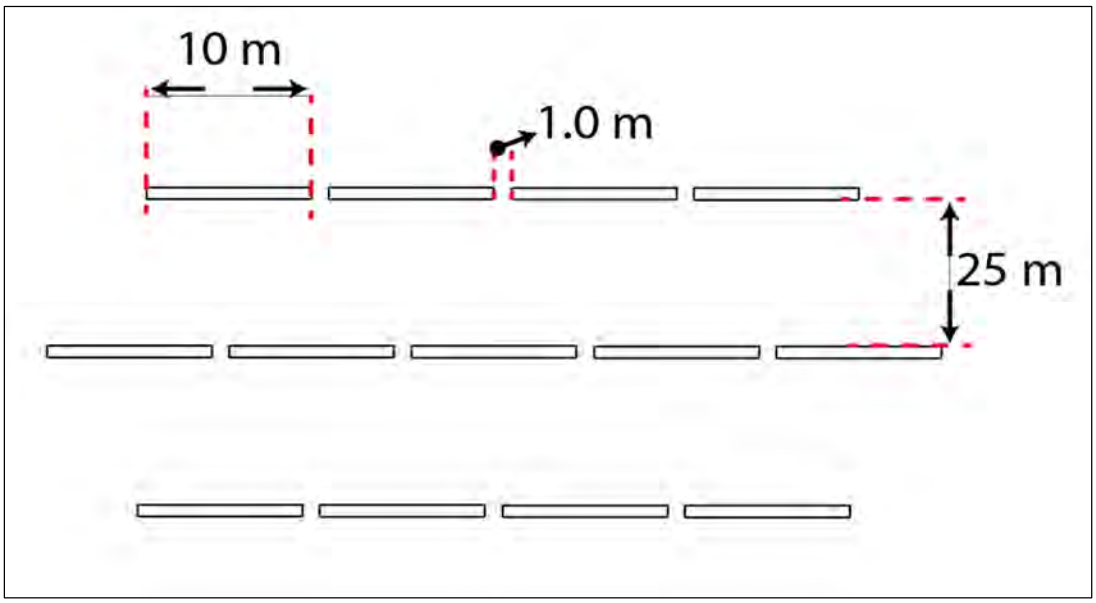


Figura 133

Vista en planta de la separación entre zanjas.



Tenemos un área de 34.75 hectáreas donde propone la recarga mediante zanjas de infiltración, considerando las características de pendiente y cobertura se plantea que cada zanja debería tener una longitud de 10 metros, con una separación lateral de 1 metro y 25 metros de distancia entre cada zanja, donde se estima un aproximado de 1264 zanjas en el área de recarga propuesto.

El volumen de escorrentía superficial fue calculado con ayuda de las precipitaciones del balance hídrico de la cuenca, el coeficiente de escorrentía y el área de recarga de la cuenca.

Tabla 87

Recarga efectiva con la propuesta de zanjas de infiltración.

MES	Evapotranspiración (mm/mes)	PP (mm/mes)	PP de recarga (PR=PP-EV)	V=PP*A*Ce (m3/mes)	RECARGA EFECTIVA (m3/mes)
ENERO	65.24	143.07	77.83	6761.5	6761.5
FEBRERO	57.86	121.72	63.86	5547.8	5547.8
MARZO	62.11	99.37	37.26	3237.0	3237.0
ABRIL	54.64	41.34	-13.3	-1155.4	
MAYO	48.61	6.88	-41.73	-3625.3	

JUNIO	41.46	3.66	-37.8	-3283.9	
JULIO	8.39	3.91	-4.48	-389.2	
AGOSTO	9.56	5.7	-3.86	-335.3	
SEPTIEMBRE	11.34	17.47	6.13	532.5	532.5
OCTUBRE	12.73	46.76	34.03	2956.4	2956.4
NOVIEMBRE	63.92	72.77	8.85	768.8	768.8
DICIEMBRE	66.47	111.12	44.65	3879.0	3879.0
		Volumen total anual			23683.0

6.4.2 REFORESTACION CON PLANTAS NATIVAS

Para la propuesta de reforestación con plantas nativas en nuestra microcuenca de estudio se plantea usar especie altoandinas estas nos ayuden en la infiltración, conservación de la humedad y protección del suelo de la erosión producto de las precipitaciones.

La reforestación con plantas nativas se viene implementando en varias zonas alto andinas en el departamento de Cusco como medida de conservación hídrica y recuperación ambiental. Instituciones como SEDA CUSCO y el Gobierno Regional del Cusco impulsan estas prácticas mediante programas de siembra y cosecha de agua en cabeceras de cuenca.

Es importante conocer las especies nativas que se emplearan para la reforestación de la cabecera de la microcuenca de estudio por lo que fue importante conocer

Tabla 88

Especies nativas de plantas para la reforestación de la microcuenca de Joctopuquio

ESPECIES NATIVAS			
DESCRIPCIÓN	**QUEUÑA**	**QOLLE**	**CHACHACOMO**
Altitud (msnm)	2800-4700	3000-4350	2600-4200
Temperatura media (°C)	3 a 12	4 a 14	6 a 14
Resistencia a heladas	Alta	Alta	Alta
Requerimiento de agua	Bajo	Bajo	Bajo
Importancia hidrogeológica	Favorece la infiltración y retención de la humedad.	Conserva la humedad y reduce la erosión.	Regulación hídrica y protección del suelo.

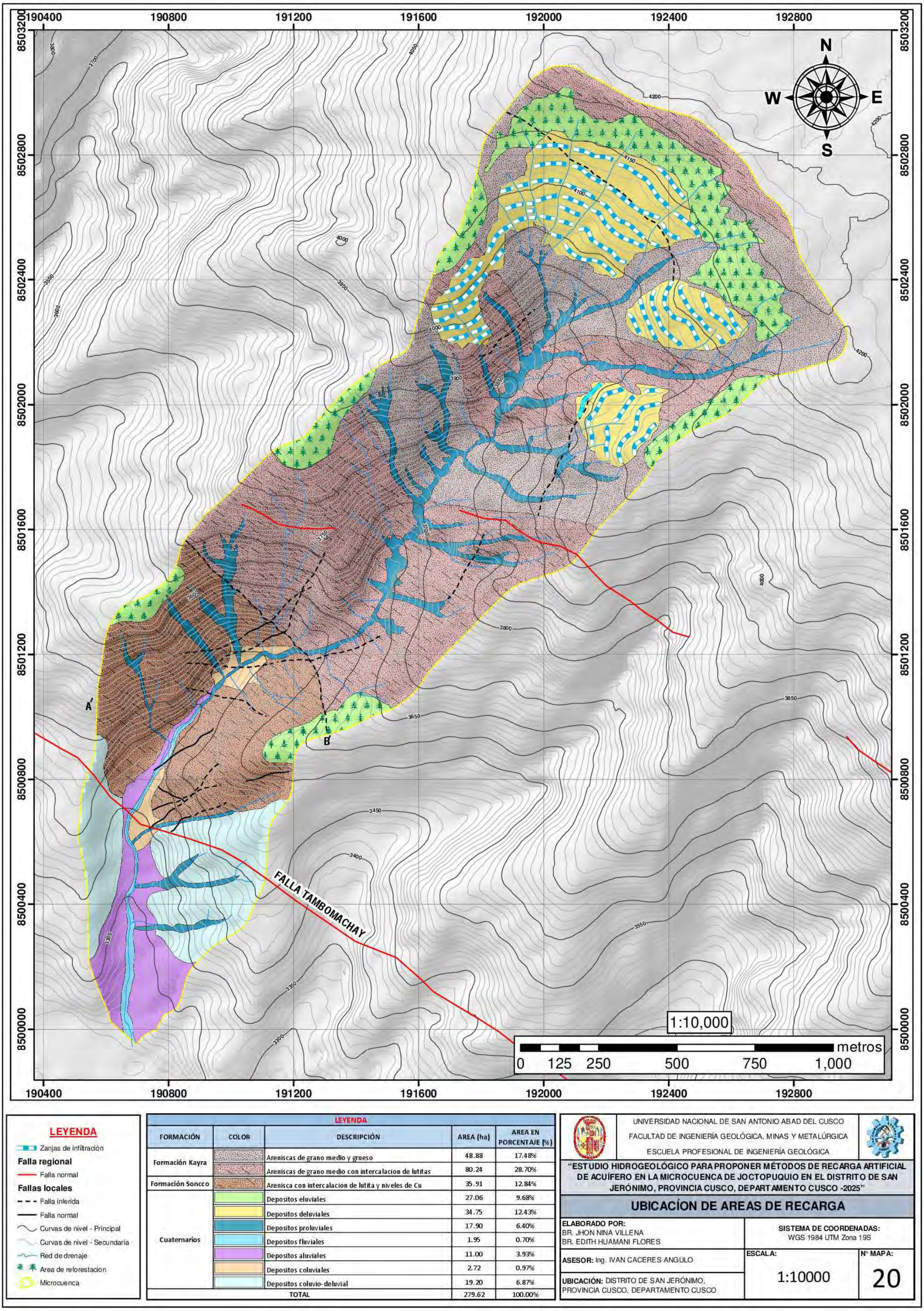
6.4.3 DIQUES DE INFILTRACIÓN O BARRERAS DE CONTROL

Este método se propone realizar en quebradas secundarias con el fin de retener sedimentos y reducir la velocidad de escorrentía, así favorecer la infiltración y servir de complemento a los métodos de zanjas y reforestación con plantas nativas.

Estas pueden ser construidas con materiales locales como:

- Enrocado (Gaviones)
- Material combinado (Roca y suelo)

Figura 134 *Mapa de Ubicación de las áreas de recarga*



LEYENDA				
FORMACIÓN	COLOR	DESCRIPCIÓN	AREA (ha)	AREA EN PORCENTAJE (%)
Formación Kayra		Areniscas de grano medio y grueso	48.88	17.48%
		Areniscas de grano medio con intercalacion de lutitas	80.24	28.70%
Formación Soncco		Arenisca con intercalacion de lutita y niveles de Cu	35.91	12.84%
Cuaternarios		Depositos eluviales	27.06	9.68%
		Depositos deluviales	34.75	12.43%
		Depositos proluviales	17.90	6.40%
		Depositos fluviales	1.95	0.70%
		Depositos aluviales	11.00	3.93%
		Depositos coluviales	2.72	0.97%
		Depositos coluvio- deluvial	19.20	6.87%
TOTAL			279.62	100.00%

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

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

UBICACÍON DE AREAS DE RECARGA

ELABORADO POR: BR. JHON NINA VILLENA BR. EDITH HUAMANI FLORES	**SISTEMA DE COORDENADAS:** WGS 1984 UTM Zona 19S	
ASESOR: Ing. IVAN CACERES ANGULO	**ESCALA:** 1:10000	**N° MAPA:** 20
UBICACIÓN: DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO		

Nota: Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (2021)

CAPITULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 RESULTADOS

7.1.1 RESULTADOS PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECIFICO

1. El estudio de unidades geomorfológicas se basó en el análisis de la morfometría del terreno producto de la pendiente y también las características litológicas y sedimentológicas de la microcuenca de Joctopuquio. Como resultado se identificaron las geoformas de cima de montaña (Mo-ci), vertiente de montaña empinada (V-me), vertiente o pie de monte coluvio-deluvial (V-cd), vertiente deluvial (V-d), lomada en rocas sedimentarias (RCL-rs), terraza aluvial (T-al), vertiente coluvial (V-c), cauce fluvial (C-fl). Las geoformas ubicadas en terrenos muy fuertemente accidentados a terrenos muy escarpados como cima de montaña (Mo-ci), vertiente de montaña empinada (V-me), vertiente o pie de monte coluvio- deluvial (V-cd) y quebradas / cárcavas (Q) son geoformas que no ayudan en la infiltración de las aguas meteóricas favoreciendo la escorrentía por la fuerte pendiente existente en esas áreas. Sin embargo, las geoformas de vertiente deluvial (V-d), lomada en roca sedimentaria (RCL-rs) se encuentran en terrenos moderadamente accidentados lo que favorece la infiltración de las aguas meteóricas al acuífero.

2. El estudio geológico de la microcuenca de Joctopuquio se logró identificaron unidades litoestratigráficas como la Formación Kayra y Soncco, también se identificaron depósitos cuaternarios (eluvial, deluvial, Proluvial, aluvial, coluvial, coluvio-deluvial y fluvial). En la Formación Kayra se realizó levantamiento de columna estratigráfica y descripción de muestras de mano donde se identificaron dos secuencias estratigráficas de areniscas de grano medio a grueso y areniscas de grano medio con intercalación de lutitas, la parte alta de la cuenca los estratos tienen un Dip Direction de 122° con un Dip de 52 °, la parte media tiene un Dip Direction 124° y un Dip de 57°, estas direcciones de estratificación son muy

favorables para la recarga del acuífero ya que el flujo del agua subterránea puede generarse a través de los planos de estratificación. En la Formación Soncco a través del análisis de muestras de mano y levantamiento de columna estratigráfica se identificó una secuencia estratigráfica de areniscas con intercalación de lutitas y niveles de Cu, la primera medición se realizó en la parte baja de la cuenca con un Dip Direction de 300° con un Dip de 32° y la segunda medición se realizó en la parte media en contacto con la Formación Kayra dando un Dip Direction de 312° con un Dip de 76°, este cambio significativo de buzamiento se debe al sistema de fallas producto de la falla regional Tambomachay. Los depósitos cuaternarios presentan materiales poco consolidados por lo que conocer su distribución ayudo en captar las aguas meteóricas, estas funcionan como medio de recarga hídrica de los acuíferos, estos son buenos lugares donde se puede proponer métodos de recarga de acuíferos.

3. El análisis estructural de la microcuenca de Joctopuquio se realizó mediante el análisis de 15 ventanas estructurales con el fin de evaluar los sistemas de fracturas y fallas que afectan a las Formaciones Kayra y Soncco. En cada ventana se registraron datos de orientación, buzamiento, espesor de fracturas, relleno entre fracturas, espaciamiento, persistencia y grado de fracturamiento. En la Formación Kayra se identificaron fallas regionales de dirección NW-SE y locales, estas controlan el sistemas de fracturas secundarias, por lo que se realizaron 10 ventanas estructurales donde se identificaron 4 familias de fracturas de Dip Direction de 123° con un Dip de 52°, Dip Direction de 240° con un Dip de 75°, Dip Direction de 23° con un Dip de 63° y Dip Direction de 332° con un Dip de 82°, esto nos indica el grado de fracturamiento y una importante permeabilidad secundaria, esto favorece la infiltración y circulación de la aguas subterráneas, la intersección entre familia de fracturas genera una mejor conductividad hidráulica, permitiendo que el agua infiltre a niveles más profundos favoreciendo los procesos de recarga. En la Formación Soncco se

identificaron fallas locales de dirección NE-SW y familias de fracturas de diferentes direcciones y buzamientos, se evidencio plegamientos en varios puntos de esta Formación

7.1.2 RESULTADOS PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO

1. El estudio hidrológico de la microcuenca de Joctopuquio se realizó con la evaluación de parámetros morfométricos y análisis de datos de 3 estaciones meteorológicas. Para las características morfométricas se consideró parámetros fiscos que indican que nuestra microcuenca presenta un área de 2.79 km2, y una pendiente de 23.69% característico de una cuenca con relieve accidentado y la pendiente de la red hídrica es 50.43% generando mayor velocidad de escorrentía y reduciendo la infiltración de las aguas meteóricas, el parámetro de forma indica que nuestra cuenca representa una forma alargada y ligeramente ensanchada, para el parámetro de relieve nos indica que la microcuenca de Joctopuquio se encuentra en equilibrio (fase de madurez). El análisis de la precipitación se consideró las estaciones de Kayra, Caycay y Pisac donde se obtuvo una precipitación anual de 714.14mm con una evapotranspiración de 502.34 mm y una escorrentía de 148.6 calculando una infiltración de 73.44.

2. La sección L1 evidencio un macizo rocoso sedimentario afectado por un fuerte control estructural, mostrando una distribución de anomalías de resistividad y su geometría interna. Por otro lado, en la sección L2 se evidencio una cobertura superficial de material de deslizamiento antiguo (depósitos coluviales), y también se evidencio zonas de debilidad que están relacionadas a planos de estratificación. Esto permitió identificar discontinuidades que controlan la deformación del macizo rocoso como el flujo de las aguas subterráneas. Las zonas con baja resistividad son los conductos de las aguas subterráneas y representan los sectores más favorables para el almacenamiento de las aguas subterráneas.

3. Las unidades hidrogeológicas se lograron identificar a través de sus parámetros hidrogeológicos como permeabilidad, porosidad y transmisibilidad. Para la permeabilidad de los depósitos cuaternarios se determinó mediante ensayos de infiltración según el método Porchet donde para el depósito eluvial presento una permeabilidad de 2.68 m/día, el depósito deluvial presento una permeabilidad de 6.97 m/día, el depósito coluvial presento una permeabilidad de 19.81 m/día y el depósito coluvio-deluvial presento una permeabilidad de 5.92 m/día considerándose buenos acuíferos, y por el tipo de material su porosidad varia de 0 a 18% con una transmisibilidad de madia a baja. Para la permeabilidad de las formaciones Kayra y sonco se calculó tomando en cuenta la abertura y el espaciado de fracturas donde la formación Kayra tiene una permeabilidad de 113.21m/día y la Formación Soncco 24.43 m/día considerándose buenos acuíferos, con una porosidad 0 a 13% con una transmisibilidad media a alta. La Formación Kayra y Soncco de acuerdo a sus características son acuíferos fisurado y los depósitos cuaternarios son acuíferos porosos.

4. El análisis químico se realizó con dos muestras que se sacaron en los manantes y dos muestras que se tomaron del cauce, estas muestras fueron enviadas a un laboratorio donde se obtuvieron los siguientes resultados: Los puntos P-01 y P-02 presentan los siguientes parámetros físico - químico de pH 7.53 y 7.3, una conductividad eléctrica 194.2 y 198 Us/cm, con una alcalinidad de 73.44 y 68.63 ppm y una presencia de solidos totales de 112.8 y 117.3 ppm. Y el análisis químico según los diagramas de Stiff y Piper indican una facie bicarbonatada cálcica y mediante el diagrama de Schoeler se encuentra dentro del rango de potabilidad como BUENA. Los puntos P-03 y P-04 son muestras del cauce y tiene los parámetros físico – químicos de pH 6.96 y 7.55, una conductividad eléctrica 6510 y 9194 Us/cm, con una alcalinidad de 109.7 y 137.05 ppm y una presencia de solidos totales de 6594 y 9194 ppm. Y el análisis químico según los diagramas de Stiff y Piper indican una

facie de tipo clorurada-sulfatada sódica y mediante el diagrama de Schoeler se encuentra dentro del rango de potabilidad como MALO a MUY MALO.

7.1.3 RESULTADOS PARA EL TERCER OBJETIVO ESPECIFICO

En la microcuenca de Joctopuquio con el fin de proponer métodos de recarga artificial, se realizó un mapa de uso de suelos actual, identificándose áreas de afloramiento rocoso, praderas naturales, bofedales, bosques densos, bosques ralos y áreas urbanas, esta información permitió reconocer zonas favorables para la aplicación de medidas de recarga hídrica. Así mismo, con ayuda del estudio hidrogeológico se pudo determinar zonas de baja a moderada permeabilidad donde se propondrán los métodos de recarga. También se determinó la precipitación máxima para un periodo de retorno de 10 años, y fue utilizada para el diseño de las zanjas de infiltración. Adicionalmente, se buscó información de plantas nativas que puedan adaptarse a las condiciones de temperatura y requerimiento de agua. En áreas de permeabilidad baja a moderada se realizará la reforestación y en áreas de permeabilidad moderada se propondrá realizar las zanjas de infiltración.

7.2 DISCUSION DE RESULTADOS

7.2.1 DISCUSIÓN DE RESULTADO PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECIFICO

1. El análisis geológico nos permitió determinar las características de la microcuenca de Joctopuquio, estas condicionan los procesos de infiltración y recarga del acuífero. El estudio geomorfológico nos mostró geoformas con pendientes suaves a moderadas, donde estas disminuyen la velocidad de escorrentía que favorecen infiltración de agua producto de las precipitaciones. Por otra parte, también se encontraron geoformas con pendientes pronunciadas a accidentadas, estas aumentan la velocidad de escorrentía y disminuyen la infiltración de las aguas de pluviales.

2. La geología y estratigrafía nos ayudó en la identificación de depósitos cuaternarios y unidades litológicas cada una con distinto comportamiento hidrogeológico. Las Formaciones geológicas presentan condiciones favorables para la infiltración y almacenamiento de las aguas meteóricas a través de su porosidad secundaria (planos de estratificación y fracturas). Los depósitos cuaternarios tienen buenas características para la infiltración y almacenamiento por su porosidad primaria.

3. El análisis estructural a través del estudio de ventanas estructurales se demostró que los planos de estratificación, fracturas y fallas forman parte proceso de infiltración, circulación y almacenamiento de las aguas pluviales. El grado de fracturamiento y el sistema de fallas locales encontradas están relacionadas con la falla regional Tambomachay, lo que favorece e incrementa en la permeabilidad secundaria de las formaciones encontradas, estas condicionan la recarga hídrica del acuífero. Este comportamiento es típico de estudios hidrogeológicos en medios fisurados, donde las estructuras tectónicas son principales medios para la recarga y descarga de las aguas subterráneas.

El estudio comprobó la hipótesis que las geoformas con pendientes bajas, depósitos cuaternarios permeables y formaciones geológicas con alto grado de fracturamiento asociado a fallas locales y regionales, generan condiciones favorables para la implementación de métodos de recarga, este resultado se alinea con los estudios realizados por (Triviño Serrato & Chinchilla Martínez, 2021) sobre importancia de la litología, fracturas y geología estructural en la circulación del agua subterránea.

7.2.2 DISCUSIÓN DE RESULTADO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO

1. Los estudios hidrogeológicos nos ayudaron a identificar acuíferos porosos en depósitos cuaternarios y acuíferos fisurados en las formaciones Kayra y Soncco. El análisis de las precipitaciones nos permitió conocer la disponibilidad de agua pluvial para los procesos de

infiltración y obtener el balance hídrico de la microcuenca de Joctopuquio, esto nos ayudó en la implementación y diseño de los métodos de recarga.

2. El estudio geofísico que se realizó mediante el método de tomografía eléctrica nos permitió identificar zonas de resistividad baja que están relacionadas a sectores fracturados y saturados. La relación entre resultados de baja resistividad y estructuras geológicas afirman que las fracturas y sistema de fallas forman parte principal en los procesos de recarga, almacenamiento y surgencia de las aguas subterráneas.

3. Los ensayos de permeabilidad en depósitos cuaternarios tienen características favorables para la infiltración de aguas meteóricas, mientras que las formaciones geológicas están condicionadas por la presencia de fallas, fracturas y planos de estratificación. Estas características nos muestran que ambos tipos de acuíferos poseen un gran potencial para la infiltración y recarga hídrica de acuífero dentro de la microcuenca. Por otro lado, el análisis hidrogeoquímica muestra que la composición química del agua subterránea está relacionada a la interacción agua-roca y por factores antrópicos a lo largo del cauce.

Este estudio comprobó la hipótesis que las características hidrológicas, geofísicas e hidrogeoquímicas permite caracterizar las condiciones hidrogeológicas de la microcuenca e identificar acuíferos porosos no consolidados y acuíferos fisurados en rocas sedimentarias y según (Peña, Charca, & Condori, 2015) esta considera principalmente la permeabilidad de los materiales y las características hidrogeológicas del terreno para la caracterización de unidades hidrogeológicas.

7.2.3 DISCUSIÓN DE RESULTADO PARA EL TERCER OBJETIVO ESPECIFICO

La propuesta para los métodos de recarga artificial se consideró los estudios anteriores y las características del uso de suelo actual y la disponibilidad hídrica de la microcuenca de Joctopuquio. Teniendo en consideración la zonificación realizada por el uso de suelo y las características

hidrogeológicas de acuerdo a su permeabilidad, fue importante en la selección de los métodos de recarga artificial del acuífero.

Las áreas clasificadas con una permeabilidad moderada presentan condiciones favorables para la implementación de zanjas de infiltración, debido a que permite que las aguas de las precipitaciones filtren hacia el acuífero y no se pierda mediante la escorrentía superficial. Por otro lado, el diseño de las zanjas de infiltración se realizó considerando la precipitación máxima en 24 horas con un periodo de retorno de 10 años, esto para garantizar que las zanjas de infiltración tengan la capacidad de captar e infiltrar las aguas de las precipitaciones durante eventos de precipitaciones significativos. Las áreas que presentan una permeabilidad baja a moderada se propuso realizar reforestación con plantas nativas, esto ayudo en mejorar las condiciones del suelo, disminuir la erosión y favorecer los procesos de infiltración. Por otro lado, la cobertura vegetal ayudo a mantener las condiciones de humedad del suelo y favorecer la infiltración y disminuir la escorrentía superficial.

La investigación confirma la hipótesis donde las zanjas de infiltración y la reforestación con especies nativas constituyen métodos de recarga artificial adecuados para incrementar la infiltración de las aguas meteóricas lo cual coincide con los estudios realizados por (Bandera & Barrientos, 2019) siendo esta una alternativa técnicamente viable para incrementar la recarga del acuífero.

CONCLUSIONES

1. El estudio hidrogeológico en la microcuenca de Joctopuquio presenta buenas características geológicas y litológicas para la implementación de métodos de recarga mediante zanjas de infiltración y reforestación con plantas nativas.

2. Geomorfológicamente, está compuesto por geoformas como vertientes de montaña y vertientes deluviales, y presentan características de pendientes moderadas a fuertes, las cuales condicionan la escorrentía superficial y limitan la infiltración en los sectores de mayor pendiente. Sin embargo, las zonas con menor pendiente pueden presentar mejores condiciones para la infiltración. Geológicamente, la microcuenca está constituida por las formaciones Kayra y Soncco, ambos pertenecientes al Grupo San Jeronimo, también se identificaron depósitos cuaternarios de origen eluvial, deluvial, proluvial, fluvial, aluvial y coluvial. La Formación Kayra presenta estratificaciones con dirección N 124° y con un buzamiento que varía de 53° a 57° hacia el SW, mientras que la Formación Soncco presenta una dirección N 300° con buzamientos que varían de 32° a 76° hacia el NE. Estructuralmente en la Formación Kayra presenta 4 familias de fracturas de un total de 90 datos analizados en el programa Stereonet Plot, para la Formación Soncco se analizaron 45 datos dándonos un total de 6 familias de fracturas. También se encontraron fallas locales y regionales, estos sistemas de fallas son originadas por la presencia de la falla Tambomachay que atraviesa la microcuenca con una dirección NW – SE. Estas estructuras mejoran la infiltración de las aguas fluviales atreves de su porosidad secundaria y ayudan en la surgencia de las aguas subterráneas. En conclusión, las características geológicas, estructurales y geomorfológicas identificadas en la microcuenca de Joctopuquio está condicionada por la permeabilidad de los materiales como por el fracturamiento de las formaciones rocosas y las características del relieve.

3. La microcuenca de Joctopuquio según la clasificación Pfafstetter es de nivel 11 y tiene el código 49949744378. Mediante el análisis de datos de 3 estaciones meteorológicas se obtuvieron los siguientes resultados: precipitación anual de 714.14 mm, temperatura media mensual de 11.36 °C, evapotranspiración anual de 502.34 mm, escorrentía superficial de 148.36 mm y un exceso de 132.45 mm en los meses de enero a marzo y un déficit de 134.63 mm en los meses de julio a octubre. Lo que evidencia la disponibilidad de agua de precipitación en los meses de enero a marzo, lo cual ayuda para la recarga del acuífero en la microcuenca.

   En la microcuenca se encontraron un total de 15 manantes donde se identificaron 10 fuentes permanentes y 5 fuentes temporales, los caudales que varían entre 0.003 y 1.133 L/s calificando como manantes de baja productividad según Meizer. La tomografía eléctrica nos ayudó a identificar que el acuífero está condicionado por la tectónica regional, y la surgencia de las aguas subterráneas este condicionado a través de fallas y fracturas.

   La Formación Kayra y Soncco son acuíferos fisurados de permeabilidad alta, también se identificó acuíferos porosos de materiales no consolidados, los siguientes depósitos: Eluvial, deluvial, coluvial y coluvio-deluvial. La Formación Soncco presenta una permeabilidad de 24.43 m/día y la Formación Kayra 112.12 m/día los depósitos cuaternarios presentan una permeabilidad que va 2.68 a 19.81 m/día. Para conocer la calidad de agua se determinó 4 puntos de los cuales fueron analizaron P-01 manantial captado y P-02 manantial, son aptos para el consumo humano y riego, los puntos P-03 y P-04 representan muestras tomadas del cauce son aguas con presencia de alta mineralización producto de la contaminación antrópica existente, estas aguas no son actos para el consumo humano.

4. En la microcuenca de estudio se propone realizar dos métodos de recarga artificial que se busca aumentar el caudal de descarga del agua subterránea que afloran producto de las fallas y fracturas locales, para la ubicación de las áreas de recarga se identificaron zonas de baja y moderada permeabilidad donde se plantea realizar reforestación con plantas nativas como Queuña, Qolle y Chachacomo, estas debido a sus buenas características de adaptación, para zonas de moderada permeabilidad se propone realizar zanjas de infiltración de 10 metros de longitud, en estas zonas se harán un total de 1264 zanjas de infiltración, y se estima una recarga de 23683 m3 al año.

   La propuesta de ambos métodos busca aumentar la retención e infiltración de las aguas de precipitación hacia el subsuelo y contribuir a la recarga del acuífero.

RECOMENDACIONES

1. Realizar charlas de sensibilización para el cuidado de los puntos de surgencias de las aguas.
2. Realizar el monitoreo de los manantes tanto en la parte media a baja de la cuenca debido a que se encuentran contaminadas por acciones antrópica
3. Hacer el mantenimiento de las zanas de infiltración cada cierto tiempo, ya que puede deteriorarse y disminuir los procesos de infiltración
4. Proteger las zonas de recarga frente al pastoreo excesivo, ya que estas acciones generan compactación del suelo y disminuye su capacidad de infiltración.
5. Implementar controles sobre el monitoreo de manantiales para evaluar la efectividad de los métodos de recarga.
6. Considerar la ampliación de las obras de recarga artificial hacia otras áreas de la microcuenca que presenten condiciones geológicas e hidrogeológicas favorables.
7. Realizar perforación diamantina con fin de conocer a mayor detalle las características hidrogeológicas de la Formación Kayra.
8. Realizar estudios hidrogeológicos en zonas cercanas a la cuenca de estudio a fin de conocer si estas influyen de alguna manera en la recarga del acuífero.
9. Realizar estudios posteriores para evaluar la viabilidad de implementar las amunas en caso fuera necesario.
10. Evaluar la implementación de galerías filtrantes para optimizar el aprovechamiento de las aguas subterráneas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2013). Elementos metodologicos para el manejo de cuencas hidrograficas. In F. Gaspari, *ELEMENTOS METODOLÓGICOS PARA EL MANEJO* (p. 191). Buenos Aires, Argentina : Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN) .

Abramson, L. (1996). *Slope stability and stabilization methods.* San Francisco ,California: A Wiley-lnterscience Publication.

Arias, J. (2021). *DISEÑO Y METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.* Arequipa-Peru: ENFOQUES CONSULTING EIRL.

Auge, M. (2008). *Métodos Geoeléctricos para la prospección de aguas subterráneas.* Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.

Baldeom, L. (2016). *Modelamiento Hidrogeologico de la Subcuenca del rio Achamayo.* Huancayo - Peru: Universidad del Centro del Peru.

Balek, J. (1988). *Groundwater recharge concepts.* Boston: Estimation of Natural Groundwater Recharge.

Bandera, W., & Barrientos, V. (2019). *ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DISEÑO DE MÉTODOS DE RECARGA ACUÍFEROS EN LA MICROCUENCA DE UNUHUAYCCO, DISTRITO OROPESA, PROVINCIA QUISPICANCHI - CUSCO- 2019.* CUSCO: UNSAAC.

Calixto, L. (2017). *METODOS GEOFISICOS PARA LA BUSQUEDA DE AGUAS SUBTERRANEAS Y PREDISEÑO DE UN POZO DE EXTRACCION PARA LA EMPRESA TRANSAVELLA, EN LA CIUDAD DE SOGAMOSO, BOYACA.* SOGAMOSO : UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA.

Carlotto Caillaux. (2011). *Geología del cuadrángulo de.* INGEMMET.

Carlotto Caillaux. (2011a). *Geología del cuadrángulo de.* INGEMMET.

Carlotto, V., Cardenas, J., & Carlier, G. (2011). *Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000 - [Boletín A 138].* Lima, Peru: INGEMMET 2011.

Carlotto, V., Pumayali, R., Peña , F., Yabar, R., Oviedo, M., Yupanqui, V., & Tintaya, D. (2008). UNA NUEVA EXPERIENCIA DE LA GALERÍA FILTRANTE EN CUSCO: PILLAO MATAO-SAN JERÓNIMO. *UNSAAC-INGEMMET*, 1-6.

Cordoba, J. (1986). *Geologia del area del Cusco y san jeronimo .*

Cortes, M., & Iglesias, M. (2004). *Generalidad sobre metodología de la investigación (Primera Edicion).* Mexico: Universidad Autónoma del Carmen.

CRN. (2020). *Guía Metodológica,MARCO OPERATIVO PARA PROYECTOS .* Chile: Gobierno de Chile.

CSIRO, CRN. (2020). *Guía Metodológica,MARCO OPERATIVO PARA PROYECTOS.* Chile: Gobierno de Chile.

Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrologia Subterranea.* Barcelona: EDISIONES OMEGA. S. A.

Duque, G. (2020). *Manual de Geologia para Ingenieros.* Manizales: Universida Nacional de Colombia .

Fetter, C. (2001). *Applied Hydrogeology.* Prentice Hall.

Fuentes , P. (2007). *GEOLOGÍA, MÓDULOIII: RECURSOS HÍDRICOS.* España: EOI,Escuela de organizacion Industrial.

Fuentes, J. d. (2004). ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE CUENCAS: CASO DE ESTUDIO DEL PARQUE NACIONAL PICO DE TANCÍTARO. *Instituto nacional de Ecologia*, 47.

Galván Mancilla, S. M. (2013). *ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA MEDIANTE MÉTODOS GEOLÓGICO-GEOFÍSICOS PARA LA PROSPECCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA HUERTA SANTA CATARINA, MUNICIPIO DE LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.* Monterey ,Mexico: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON.

García , M., & Fernández, Á. (2008). *Hidrogeología básica, Las aguas subterráneas y su flujo.* Ediciones FIEC.

Gaspari, F., Rodríguez, V., & G, S. (2013). *Manejo integral de cuencas hidrográficas.* Buenos Aires: La Plata: Universidad Nacional de La Plata.

Gonzalez de Vallejo, L. (2002). *Ingenieria Geologica.* Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.

González de Vallejo, L., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica.* PEARSON EDUCACIÓN, S. A.

Hacha, E., & Tacusi, C. (2015). *Modelación hidrológica de la subcuenca de Pitumarca con la aplicación del modelo Weap (Sistema de Evalaución y Planeación de Agua) Canchis - Cusco.* Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Hernández, S., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education.

Hoek, E., & Bray, J. (1981). *Rock Slope Engineering.* Institution of Mining and Metallurgy.

Horton, R. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology.* Geological Society of America Bulletin.

Hudson, J., & Harrison, J. (2000). *Engineering rock mechanics: An introduction to the principles.* Elsevier.

Ibáñez, J., Bockheim, J., & Richards, R. (2010). *Soil and geomorphology relationships in watershed hydrology.* Earth Surface Processes and Landforms.

Izabá Ruiz, R. D., Aguirre Jiménez, C. J., & Tercero Montenegro, L. R. (2025). Zonificación de recarga en agua subterránea para su protección en la microcuenca Aguas Clientes, Madriz, Nicaragua. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 41.

Jara, M. (2023, diciembre 9). Pueblos andinos de Perú "reviven" el agua que la crisis climática les quita. *El Pais.cr*, p. 1.

M.Falkenmark. (Meeting Water Requirements of an Expanding World Population). M.Falkenmark,. *Natural Science Research*, 929-936.

MINAGRI. (2014). *Cartillas para la conservación de suelos: Zanjas de infiltración.* Lima.

ONU. (2023, 03 06). Water – at the center of the climate crisis. *Water – at the center of the climate crisis*, p. 1.

Ordoñes, J. (2011). *Agua Subterranea-Acuiferos.* Lima: Sociedad Geográfica de Lima .

Peña, F., & Santos, B. (2008). *ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LA ZONA DE RECARGA DE LA GALERÍA FILTRANTE DE PILLAO MATAO, SAN JERÓNIMO – CUSCO.* Cusco: INGEMET.

Peña, F., Charca, M., & Condori, E. (2015). *INSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA, PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS EN LA SUB CUENCA SANTA EULALIA.* LIMA: INGEMMET.

Quezada, B., & Alicia, M. (2023). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE OBRAS DE RECARGA DE ACUÍFERO EN EL TERRITORIO DE LA COMUNA DE COMBARBALÁ, IV REGIÓN DE COQUIMBO.* SANTIAGO DE CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE.

Quispe, B., Caprio, J., & Machaca, D. (2016). CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN LA CABECERA DE LA CUENCA DEL RÍO AZÁNGARO - PUNO. *XVIII Congreso Peruano de Geología*, 5.

R.A., F., & J.A., C. (1979). *Groundwater.* Prentice Hall.

Robles Coronel, K. B., & Ricce Torres, M. G. (2014). *Evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales y estrategías de gestión sostenible en la microcuenca Río Negro – Satipo.* Satipo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Sangüesa Pool, C., Pizarro Tapia, R., & Mendoza Mendoza, R. (2021). *Diseño de zanjas de infiltración.* Cátedra UNESCO en Hidrología de Superficie.

Santiago. (2007, Febrero 1). *La Guia*. Retrieved from Geografia: https://geografia.laguia2000.com/relieve/la-litologia

Scivetti, N., Bahía, M., & Spagnuolo, J. (2021). *Manual de Geofisica y Metodos Geofisicos.* Bahía Blanca, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional del Sur .

Seller, C., Bujan, S., Corbelle , E., & Miranda , D. (2017). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. Ecuador: CONFIbSIG.

Senamhi. (2016). *Caracterización Hidrológica del distrito de Pampas y Santiago de Tucuma – Departamento Huancavelica.* Lima-Perú: Ministerio de Medio Ambiente.

SENAMHI. (2021). *Climas del Peru, Mapa de Claificacion Climatica del Peru.* Lima, Peru: RED ACTIVA SOLUCIONES GRAFICAS S.A.C.

Sousa, P., Cardenas, M., & Costa, I. (2007). Revisión de diseños de investigación resaltantes para enfermería parte 1. *Diseños de investigación cuantitativa.*, 15(3).

Strahler, A. (1952). *Dynamic basis of geomorphology.* Geological Society of America Bulletin.

Tarbuck , E., Lutgens, F., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra La Introducción a la geologia física.* Madrid: Pearson Educación S. A.

Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics (2nd ed.).* Cambridge University Press.

Triviño Serrato, L. F., & Chinchilla Martínez, L. M. (2021). *Monitoreo de manantiales para estudios hidrogeológicos en zonas de montaña. Aplicación en la microcuenca de la Quebrada El Perro, Manizales-Colombia.* Manizales, Colombia: Universidad de Caldas .

UNESCO. (2018). *Las amunas: siembra y cosecha de agua en los Andes peruanos.* París, Francia.

ANEXOS

Anexo A: Resultados de Ventanas Estructurales

Anexo B: Medición de caudal en manantiales y captaciones

Anexo C: Ensayos de infiltración (Método Porchet)

Anexo D: Informe de análisis químico de muestras de aguas.

Anexo E: Matriz de consistencia

Anexo A: Resultados de Ventanas Estructurales

	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH	
	COORDENADAS	N:	8502483	E:	191770	4037 msnm	FECHA :	04/09/2025	
							CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FKS-001	N45°	15°SW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Ar-m	100			9

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviacion	m	TIPO	ESPESOR	
1	FR	N 10°	71° SE	2	0.75	Or	> 5mm	8
	FR	N 15°	65° SE	2	0.70	Or	> 5mm	9
	FR	N 13°	70° SE	2	0.80	Or	> 5mm	8
2	FR	N 245°	85° NE	3	0.40	Or	> 5mm	7
	FR	N 240°	80° NE	3	0.50	Or	> 5mm	6
	FR	N 243°	82° NE	3	0.60	Or	> 5mm	8
3	FR	N 37°	62° SE	3	0.45	Or	> 5mm	7
	FR	N 35°	60° SE	3	0.55	Or	> 5mm	8
	FR	N 40°	65° SE	3	0.40	Or	> 5mm	10

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)				VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1 7
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17) X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2 13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15) X	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3 10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X 1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A 4
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) X	> 5 mm (0)	4B 0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C 3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) X	Suave > 5 mm (0)	4D 0
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) X	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E 3
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5 10
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =	50

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

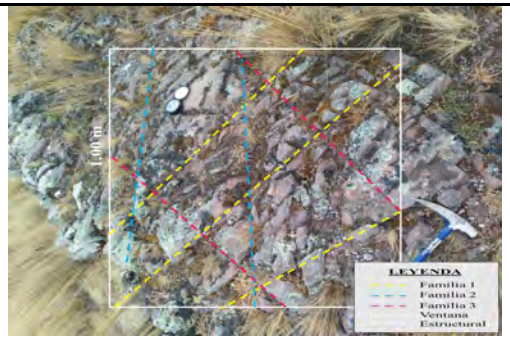
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

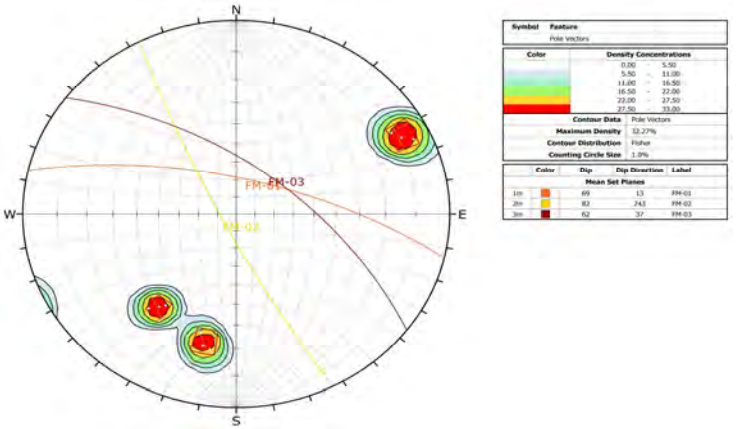
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH	
						FECHA :	04/09/2025	
	COORDENADAS	N:	8502980	E:	191933	4144 msnm	CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FKS-002	N55°	30°SE

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Ar-g	100			10

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviacion	m	TIPO	ESPESOR	
1	FR	N 237°	62° NW	3	0.30	Or	> 5mm	8
	FR	N 235°	65° NW	3	0.50	Or	> 5mm	7
	FR	N 240°	63° NW	3	0.45	Or	> 5mm	10
2	FR	N 28°	44° SE	3	0.30	Or	> 5mm	7
	FR	N 27°	45° SE	3	0.25	Or	> 5mm	5
	FR	N 25°	43° SE	3	0.30	Or	> 5mm	6
3	FR	N 303°	64° NE	3	0.50	Or	> 5mm	8
	FR	N 305°	60° NE	3	0.48	Or	> 5mm	9
	FR	N 304°	62° NE	3	0.46	Or	> 5mm	7

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)				VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17) X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15) X	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA X	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	6
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) X	> 5 mm (0)	4B	0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) X	Suave > 5 mm (0)	4D	0
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) x	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =		52

CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

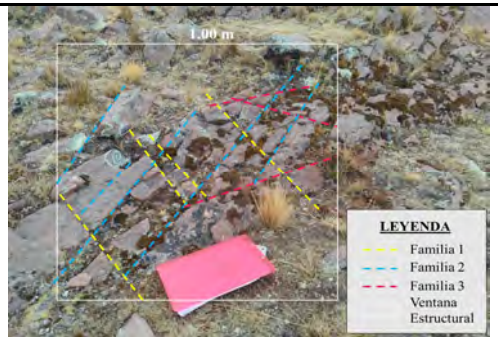
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

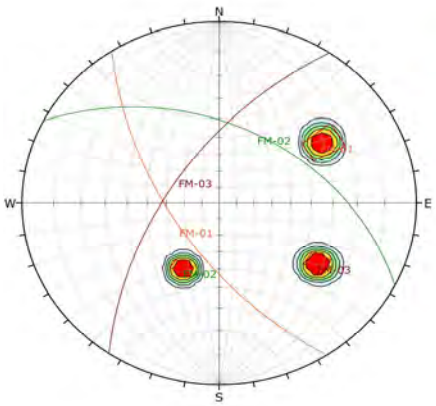
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

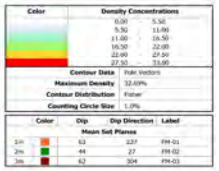
ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250







	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"			POR :	JHON Y EDITH	
					FECHA :	04/09/2025	
	COORDENADAS	N: 8502907	E: 192365	4158 msnm	CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FKS-003	N79°	25°NW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	Nº Fract. / ml.
Ar-f	100			14

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviación	m	TIPO	ESPESOR	
1	FR	N 59°	85° SE	3	0.50	Or	> 5mm	8
	FR	N 57°	80° SE	3	0.55	Or	> 5mm	9
	FR	N 55°	83° SE	3	0.50	Or	> 5mm	7
2	FR	N 242°	85° NW	3	0.30	Or	> 5mm	8
	FR	N 254°	80° NW	3	0.24	Or	> 5mm	6
	FR	N 250°	79° NW	3	0.28	Or	> 5mm	7
3	FR	N 35°	62° SE	3	0.50	Or	> 5mm	10
	FR	N 25°	68° SE	3	0.54	Or	> 5mm	9
	FR	N 30°	75° SE	3	0.58	Or	> 5mm	9

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)					VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	X 25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	X 25-50 (8)	<25 (3	2	8
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	X 0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	8
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X 1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	X > 5 mm (0)	4B	0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2)	X Suave > 5 mm (0)	4D	0
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	x Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA		X Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5)	=	40

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	IV
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

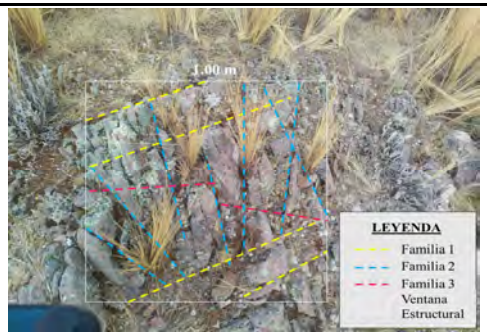
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

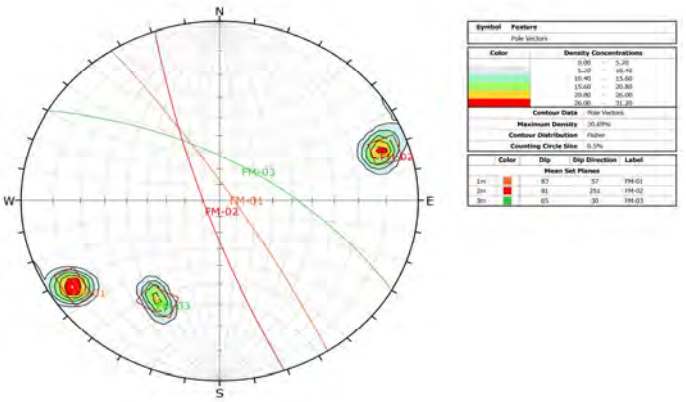
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS / IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH	
	COORDENADAS	N: 8502114	E: 192732	4111 msnm		FECHA :	04/09/2025	
						CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FKS-004	N110°	30°SW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	Nº Fract. / ml.
Ar-m	100			6

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviación	m	TIPO	ESPESOR	
1	FR	N 245°	63° NW	3	0.30	Or	> 5mm	8
	FR	N 240°	65° NW	3	0.40	Or	> 5mm	6
	FR	N 243°	67° NW	3	0.45	Or	> 5mm	7
2	FR	N 342°	81° NE	3	0.25	Or	> 5mm	6
	FR	N 340°	85° NE	3	0.30	Or	> 5mm	9
	FR	N 341°	79° NE	3	0.24	Or	> 5mm	8
3	FR	N 10°	61° SE	3	0.50	Or	> 5mm	9
	FR	N 15°	65° SE	3	0.55	Or	> 5mm	8
	FR	N 17°	59° SE	3	0.50	Or	> 5mm	9

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)				VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1 7
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17) X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3	2 13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15) X	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3 10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6) X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A 4
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) X	> 5 mm (0)	4B 0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C 3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) X	Suave > 5 mm (0)	4D 0
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) X	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E 3
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5 10
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =	50

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

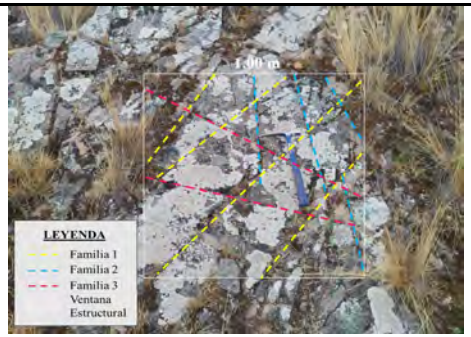
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

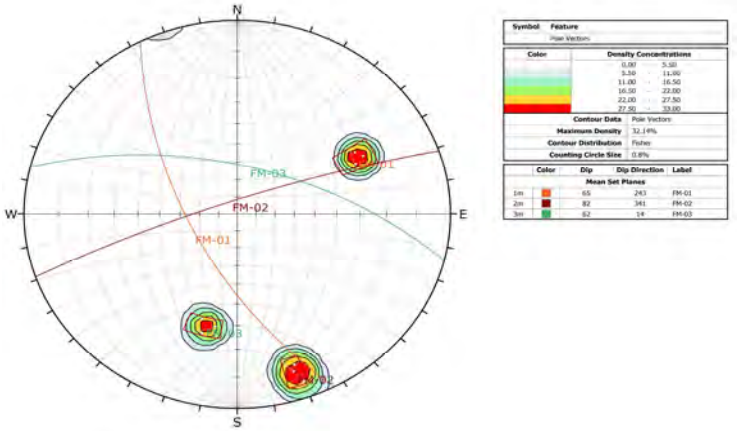
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH	
	COORDENADAS	N: 8501858	E: 192261	4009 msnm		FECHA :	04/09/2025	
						CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FKS-005	N145°	39°SW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	Nº Fract. / ml.
Ar-f	100			10

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviación	m	TIPO	ESPESOR	
1	FR	N 235°	67° NE	3	0.45	Or	> 5mm	11
	FR	N 230°	65° NE	3	0.50	Or	> 5mm	13
	FR	N 233°	70° NE	3	0.55	Or	> 5mm	14
2	FR	N 325°	82° NE	3	0.20	Or	> 5mm	6
	FR	N 320°	85° NE	3	0.26	Or	> 5mm	8
	FR	N 327°	80° NE	3	0.28	Or	> 5mm	9
3	FR	N 298°	15° NW	3	0.55	Or	> 5mm	11
	FR	N 295°	17° NW	3	0.50	Or	> 5mm	13
	FR	N 296°	13° NW	3	0.57	Or	> 5mm	12

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)				VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13) x	25-50 (8)	<25 (3)	2	8
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15) X	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X 1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) x	> 5 mm (0)	4B	0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) x	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) x	Suave > 5 mm (0)	4D	0
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) x	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)	x Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5)	=	45

CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

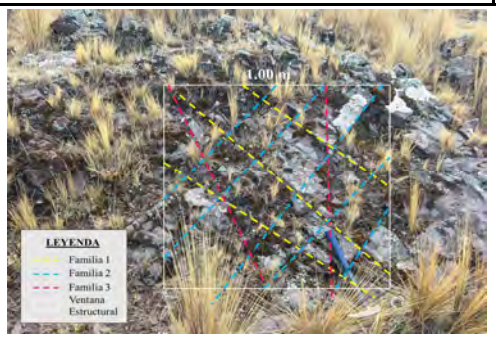
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

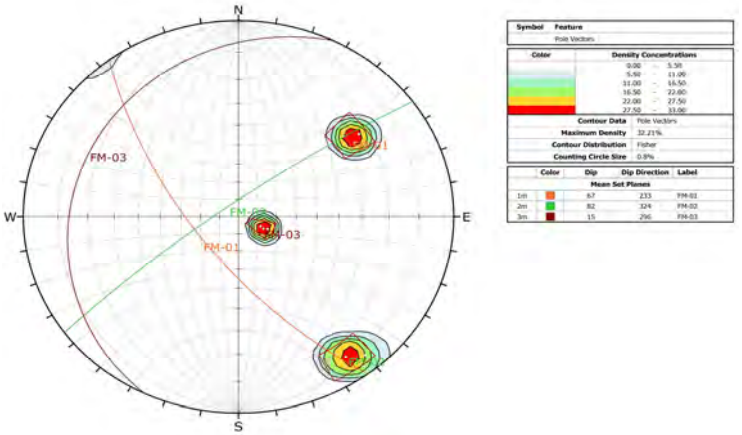
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"			POR :	JHON Y EDITH	
					FECHA :	04/09/2025	
	COORDENADAS	N: 8501631	E: 192029	3898 msnm	CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FKM-001	N190°	81°NW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Ar-f	100			13

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviación	m	TIPO	ESPESOR	
1	FR	N 41°	88° SE	3	0.40	Or	> 5mm	10
	FR	N 45°	85° SE	3	0.35	Or	> 5mm	11
	FR	N 46°	87° SE	3	0.40	Or	> 5mm	9
2	FR	N 60°	46° SE	3	0.40	Or	> 5mm	10
	FR	N 61°	47° SE	3	0.46	Or	> 5mm	14
	FR	N 65°	45° SE	3	0.43	Or	> 5mm	13
3	FR	N 240°	58° NW	3	0.50	Or	> 5mm	7
	FR	N 235°	55° NW	3	0.56	Or	> 5mm	8
	FR	N 238°	57° NW	3	0.54	Or	> 5mm	6

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)					VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7) X	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17) X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3	2	13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15) X	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4) X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	2
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) X	> 5 mm (0)	4B	0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) X	Suave > 5 mm (0)	4D	0
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) x	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =		45

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

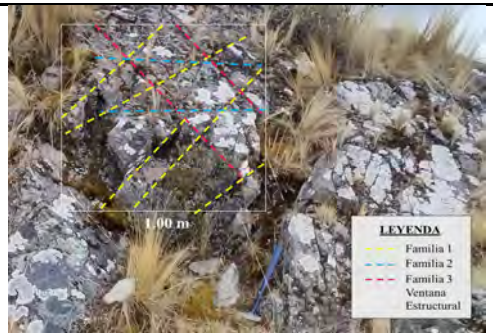
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

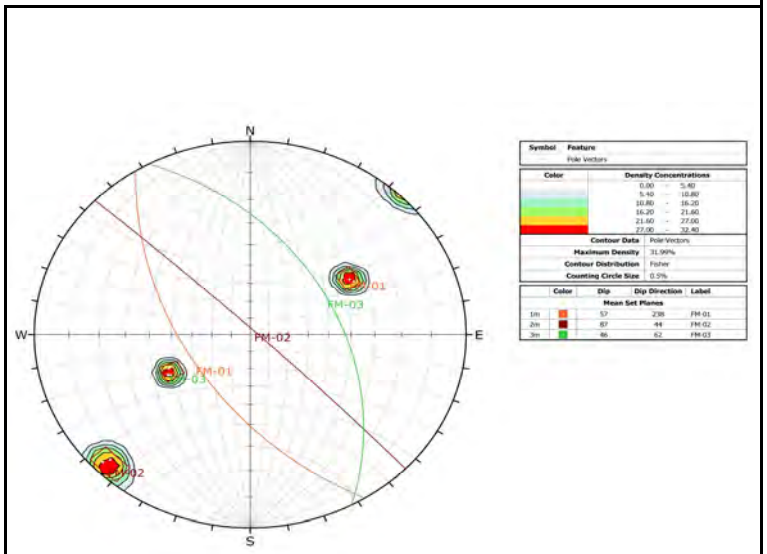
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS / IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH	
	COORDENADAS	N:	8501520	E:	191981	3843 msnm	FECHA :	04/09/2025	
							CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FKM-002	N 98°	75°NW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Ar-m	100			12

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviación	m	TIPO	ESPESOR	
1	FR	N 254°	51° NW	3	0.50	Or	> 5mm	12
	FR	N 245°	54° NW	3	0.48	Or	> 5mm	11
	FR	N 250°	55° NW	3	0.46	Or	> 5mm	11
2	FR	N 27°	55° SE	3	0.58	Or	> 5mm	6
	FR	N 25°	51° SE	3	0.56	Or	> 5mm	7
	FR	N 29°	50° SE	3	0.54	Or	> 5mm	6
3	FR	N 205°	70° NW	3	0.50	Or	> 5mm	11
	FR	N 203°	65° NW	3	0.45	Or	> 5mm	12
	FR	N 201°	71° NW	3	0.45	Or	> 5mm	11

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)				VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1 7
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17) X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2 13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15) X	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3 10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6) X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A 4
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) X	> 5 mm (0)	4B 0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C 3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) X	Suave > 5 mm (0)	4D 0
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) X	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E 3
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5 10
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =	50

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

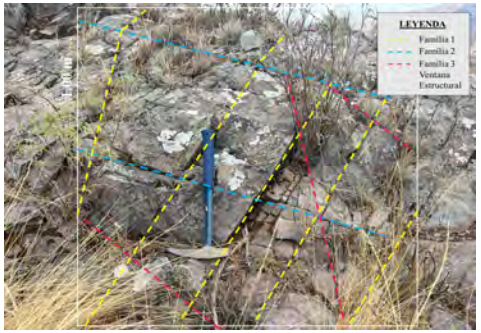
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

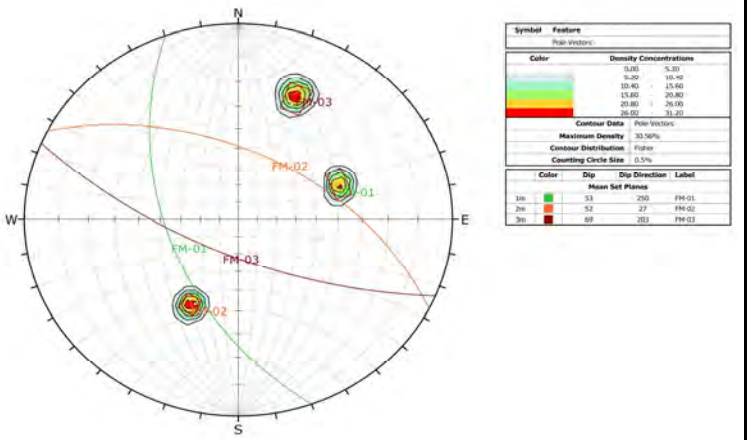
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS / IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH
						FECHA :	04/09/2025
	COORDENADAS	N: 8501402	E: 191779	3754 msnm		CUENCA.	Joctopuquio

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FKB-001	N145°	75°NW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Ar-m	55	Lu	45	15

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviación	m	TIPO	ESPESOR	
1	FR	N 238°	75° NW	3	0.40	Or	> 5mm	10
	FR	N 245°	68° NW	3	0.35	Or	> 5mm	12
	FR	N 240°	66° NW	3	0.40	Or	> 5mm	12
2	FR	N 223°	88° NW	3	0.30	Or	> 5mm	7
	FR	N 226°	86° NW	3	0.35	Or	> 5mm	7
	FR	N 222°	82° NW	3	0.35	Or	> 5mm	6
3	FR	N 145°	40° SW	3	0.50	Or	> 5mm	6
	FR	N 158°	43° SW	3	0.45	Or	> 5mm	6
	FR	N 155°	41° SW	3	0.45	Or	> 5mm	7
4	E	N 121°	57° SW	2	0.90	Arc	< 5mm	2
	E	N 125°	55° SW	2	0.80	Arc	< 5mm	2
	E	N 123°	53° SW	2	0.90	Arc	< 5mm	2

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)				VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1 7
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13) x	25-50 (8)	<25 (3)	2 8
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15) X	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3 10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6) X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A 4
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) x	> 5 mm (0)	4B 0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) x	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C 3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) x	Suave > 5 mm (0)	4D 0
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) x	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E 3
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) x	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5 15
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =	50

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

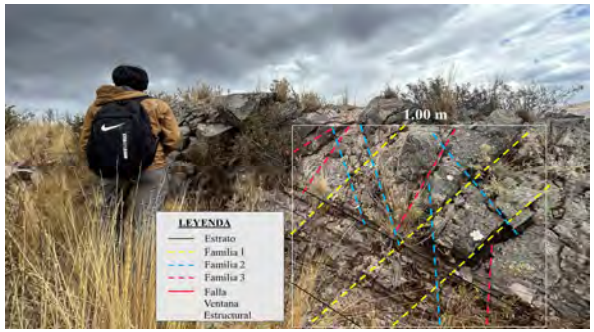
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

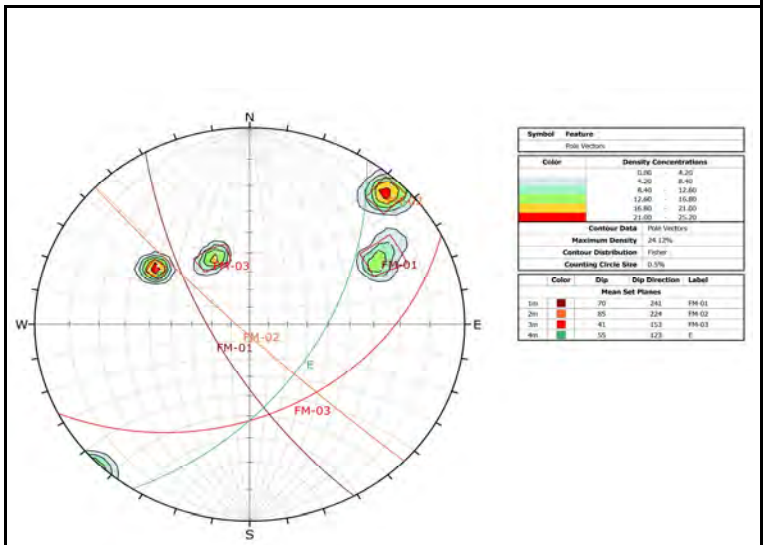
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH
					FECHA :	29/08/2025
COORDENADAS	N:	8501665	E:	191012	3715 msnm	CUENCA.	Joctopuquio

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FKB-002	N 35°	68° SE

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Ar-m	100			8

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviación	m	TIPO	ESPESOR	
1	FR	N 90°	83° S	3	0.30	Or - Li	> 5mm	10
	FR	N 95°	80° SW	3	0.40	Or - Li	> 5mm	11
	FR	N 91°	81° SW	3	0.30	Or - Li	> 5mm	12
2	FR	N 15°	68° SE	3	0.50	Or - Li	> 5mm	8
	FR	N 20°	70° SE	3	0.55	Or - Li	> 5mm	7
	FR	N 17°	71° SE	3	0.50	Or - Li	> 5mm	8
3	FR	N 231°	35° NW	3	0.50	Or - Li	> 5mm	9
	FR	N 235°	34° NW	3	0.50	Or - Li	> 5mm	8
	FR	N 234°	36° NW	3	0.45	Or - Li	> 5mm	8

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)				VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17) X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15) X	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6) X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) X	> 5 mm (0)	4B	0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) X	Suave > 5 mm (0)	4D	0
	ALTERACION	Sana (6) X	Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	5
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =		52

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

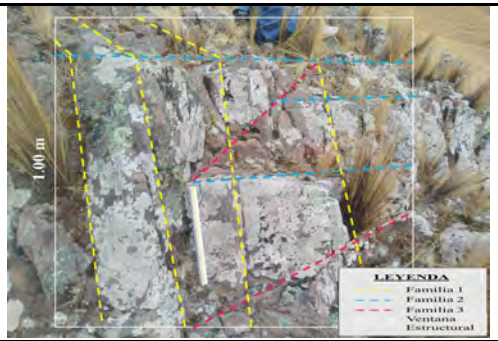
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

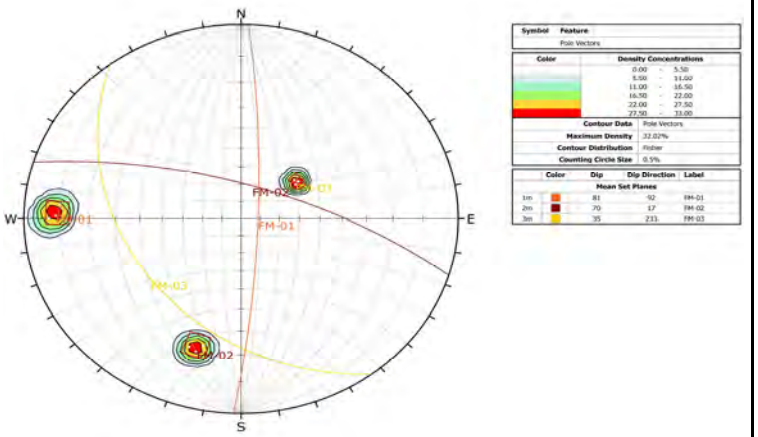
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS / IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				**POR :**	JHON Y EDITH
						FECHA :	29/08/2025
	COORDENADAS	**N:**	**8501371**	**E:**	**191191**	**3576 msnm**	**CUENCA.**	Joctopuquio

Nº	**ORIENTACION DE LA VENTANA**	
ESTACION	**AZIMUT.**	**BUZAMIENTO**
FKB-003	N135°	81°SW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Ar-f	100			16

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviación	m	TIPO	ESPESOR	
1	E	N 254°	88° NW	4	0.18	Li	> 5mm	8
	E	N 250°	85° NW	4	0.18	Li	> 5mm	9
	E	N 248°	83° NW	4	0.16	Li	> 5mm	7
2	FR	N 22°	79° SE	4	0.20	Li	> 5mm	9
	FR	N 25°	76° SE	4	0.18	Li	> 5mm	9
	FR	N 29°	75° SE	4	0.16	Li	> 5mm	10
3	FR	N 345°	45° NE	3	0.55	Li	> 5mm	8
	FR	N 340°	40° NE	3	0.48	Li	> 5mm	7
	FR	N 343°	49° NE	3	0.50	Li	> 5mm	9

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)				VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) X	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1 **7**
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13) X	25-50 (8)	<25 (3)	2 **8**
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10) X	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3 **8**
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4) X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A **2**
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) X	> 5 mm (0)	4B **0**
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C **3**
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) X	Suave > 5 mm (0)	4D **0**
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) x	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E **3**
AGUA SUBTERRANEA	x	Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5 **15**
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =	**46**

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	**III**
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

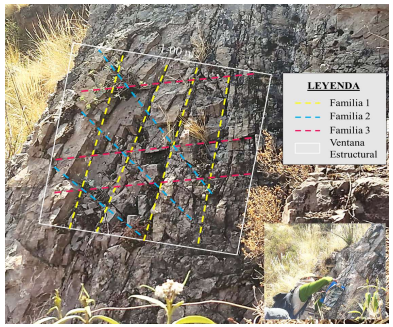
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

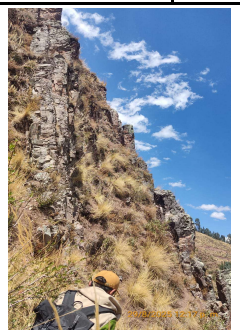
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

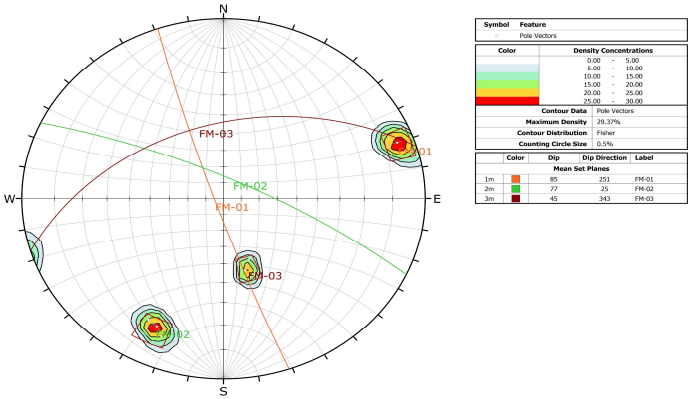
ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Or	Organico

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250







	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH	
	COORDENADAS	N: 8501458	E: 190839	3605 msnm		FECHA :	03/07/2025	
						CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FSC-001	N135°	45°SW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	Nº Fract. / ml.
Lu	60	Ar-f	40	22

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviacion	m	TIPO	ESPESOR	
1	E	N 319°	45° NE	3	0.35	Arc	< 5mm	2
	E	N 315°	47° NE	3	0.40	Arc	< 5mm	2
	E	N 317°	46° NE	3	0.54	Arc	< 5mm	2
2	FR	N 215°	70° NW	3	0.31	Li-Are	< 5mm	2
	FR	N 220°	74° NW	3	0.52	Li-Are	< 5mm	3
	FR	N 221°	80° NW	3	0.45	Li-Are	< 5mm	2
3	FR	N 35°	65° SE	4	0.15	Li-Are	< 5mm	3
	FR	N 40°	60° SE	4	0.08	Li-Are	< 5mm	4
	FR	N 38°	61° SE	4	0.17	Li-Are	< 5mm	3
4	FR	N 250°	45° NW	4	0.07	Li-Are	< 5mm	2
	FR	N 251°	50° NW	4	0.10	Li-Are	< 5mm	3
	FR	N 248°	49° NW	4	0.18	Li-Are	< 5mm	2

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)					VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) x	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8) x	<25 (3)	2	3
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10) x	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	8
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA x	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	6
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4) x	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0	4B	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) x	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2) x	Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)	4D	2
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) x	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA	x	Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =		48

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

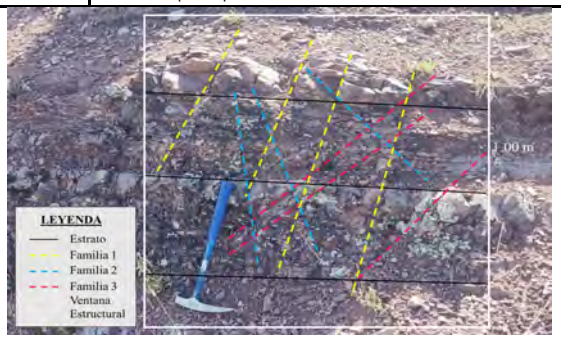
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

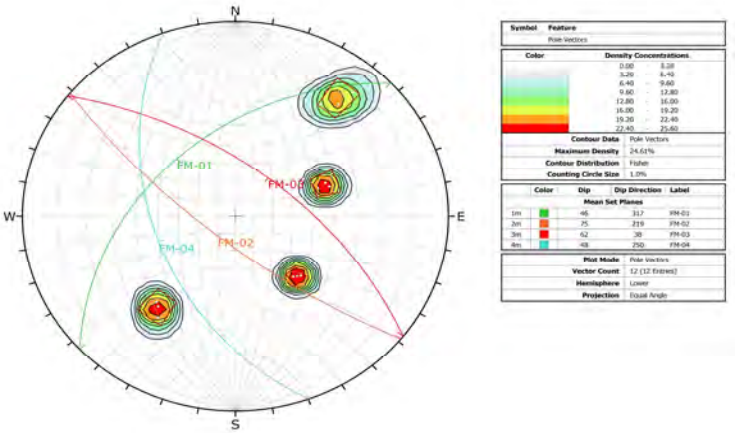
ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Si	Silice

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250







	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH	
	COORDENADAS	N:	8501256	E:	191121	3444 msnm	FECHA :	29/08/2025	
							CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FSC-002	N120°	79°SW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Lu	30	Ar-f	70	12

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviacion	m	TIPO	ESPESOR	
1	E	N 314°	76° NE	3	0.58	Arc	< 5mm	2
	E	N 321°	81° NE	3	0.55	Arc	< 5mm	3
	E	N 315°	77° NE	3	0.57	Arc	< 5mm	2
2	FR	N 221°	88° NW	4	0.18	Cb	< 5mm	2
	FR	N 224°	82° NW	4	0.17	Cb	< 5mm	3
	FR	N 215°	85° NW	4	0.18	Cb	< 5mm	2
3	FR	N 232°	44° NW	4	0.15	Li-Arc	< 5mm	3
	FR	N 229°	46° NW	4	0.18	Li-Arc	< 5mm	4
	FR	N 237°	38° NW	4	0.18	Li-Arc	< 5mm	3
4	FR	N 44°	85° SE	4	0.19	Li-Arc	< 5mm	4
	FR	N 43°	84° SE	4	0.19	Li-Arc	< 5mm	3
5	F	N 241°	25° NW	-		Arc	< 5mm	

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)					VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12) x	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13) x	25-50 (8)	<25 (3	2	8
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10) x	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	8
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4) x	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4) x	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0	4B	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) x	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4) x	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)	4D	2
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) x	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA	x	Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =		51

CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala

III

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

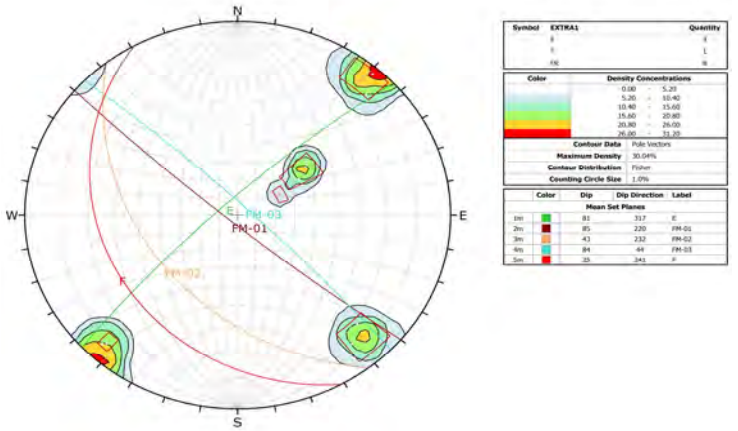
ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Si	Silice

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250







PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"	POR :	JHON Y EDITH
		FECHA :	29/08/2025
COORDENADAS	N: 8501130 E: 190926 3491 msnm	CUENCA.	Joctopuquio

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FSC-003	N15°	79°SE

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Ar-m	100			6

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviacion	m	TIPO	ESPESOR	
1	E	N 313°	34° NE	2	0.75	Arc	< 5mm	3
	E	N 317°	33° NE	2	0.80	Arc	< 5mm	2
	E	N 315°	34° NE	2	0.76	Arc	< 5mm	3
2	FR	N 120°	87° SW	3	0.50	Li - Cb	> 5mm	7
	FR	N 123°	82° SW	3	0.45	Li - Cb	> 5mm	8
	FR	N 120°	80° SW	3	0.47	Li - Cb	> 5mm	6
3	FR	N 235°	47° NW	3	0.20	Li - Cb	> 5mm	10
	FR	N 230°	45° NW	3	0.34	Li - Cb	> 5mm	20
	FR	N 234°	48° NW	3	0.40	Li - Cb	> 5mm	15
4	FR	N 77°	80° SE	3	0.50	Li - Cb	> 5mm	8
	FR	N 75°	83° SE	3	0.45	Li - Cb	> 5mm	6
	FR	N 79°	82° SE	3	0.48	Li - Cb	> 5mm	9

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)					VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)		100-250 (12)		50-100 (7) X	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
RQD %		90-100 (20)		75-90 (17) X		50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3	2	13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)		0,6-2 (15) X		0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	x	1-3 m Long. (4)		3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4
	ABERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1) X	> 5 mm (0)	4B	0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)		Rugosa (5) x		Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (2) X	Suave > 5 mm (0)	4D	0
	ALTERACION	Sana (6)		Lig. Alterada. (5)		Mod.Alterada. (3) X	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	2
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) x		Humedo (10)		Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15
								VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =		51

CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala

III

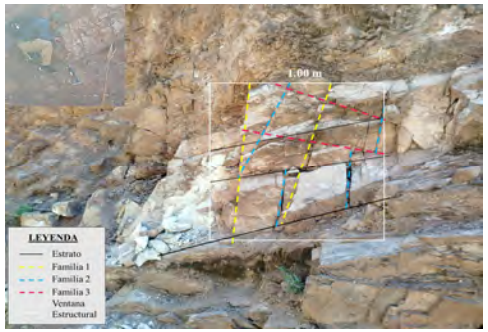
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

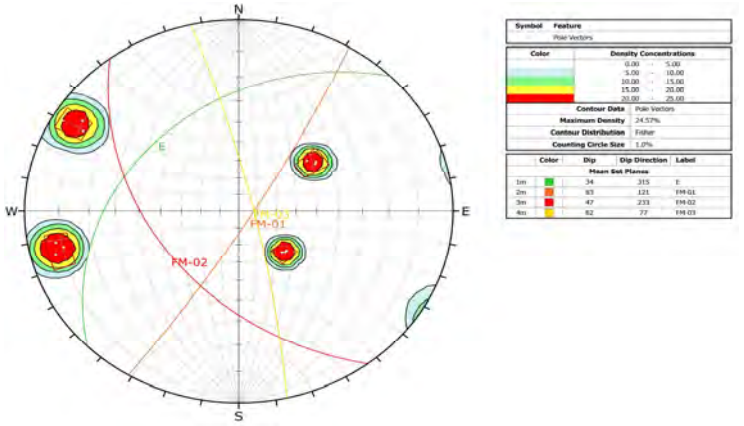
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Si	Silice

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS / IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. / COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH	
	COORDENADAS	N: 8500758	E: 190823	3496 msnm		FECHA :	29/08/2025	
						CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FSC-004	N270°	81°SE

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	N° Fract. / ml.
Ar-f	90	Lu	10	11

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviacion	m	TIPO	ESPESOR	
1	E	N 305°	31° NE	2	0.80	Arc	< 5mm	2
	E	N 304°	35° NE	2	0.85	Arc	< 5mm	2
	E	N 307°	33° NE	2	0.78	Arc	< 5mm	2
2	FR	N 305°	85° NE	3	0.54	Li - Cb	< 5mm	3
	FR	N 298°	80° NE	3	0.45	Li - Cb	< 5mm	4
	FR	N 300°	83° NE	3	0.35	Li - Cb	< 5mm	4
3	FR	N 225°	85° NW	3	0.50	Li - Cb	< 5mm	3
	FR	N 223°	86° NW	3	0.55	Li - Cb	< 5mm	4
	FR	N 220°	82° NW	3	0.40	Li - Cb	< 5mm	4
4	FR	N 70°	66° SE	3	0.35	Li - Cb	< 5mm	3
	FR	N 75°	56° SE	3	0.46	Li - Cb	< 5mm	4
	FR	N 72°	61° SE	3	0.50	Li - Cb	< 5mm	4

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)				VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	X 25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	X 50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	X 0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	x 1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	X 1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	x Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X Suave < 5 mm (2)	Suave > 5 mm (0)	4D	2
	ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3)	X Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	2
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)	x Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =		49

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

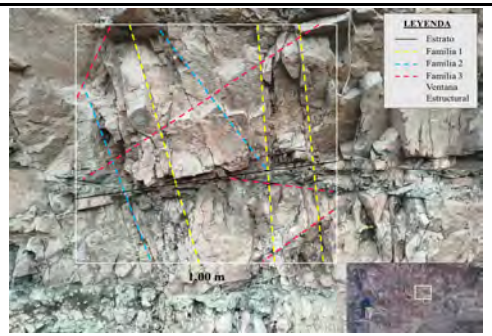
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

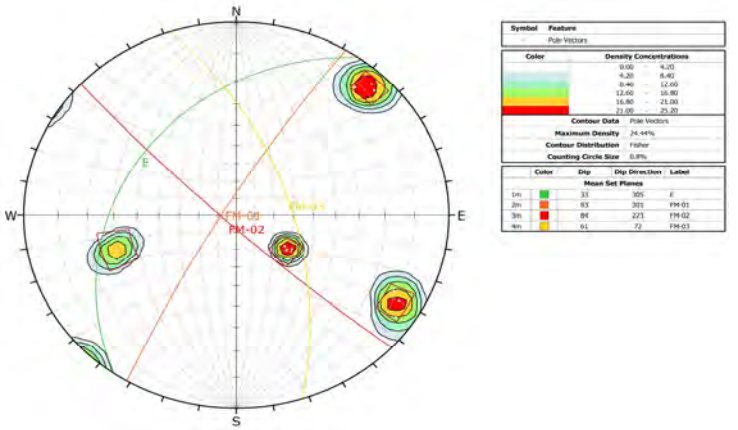
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Si	Silice

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





	PROYECTO :	"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"				POR :	JHON Y EDITH	
	COORDENADAS	N:	8501151	E:	191160	3496 msnm	FECHA :	29/08/2025	
							CUENCA.	Joctopuquio	

Nº	ORIENTACION DE LA VENTANA	
ESTACION	AZIMUT.	BUZAMIENTO
FSC-005	N190°	81°NW

TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA
A	%	B	%	Nº Fract. / ml.
Ar-f	100			9

Familia	TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		Abertura (mm)
		AZIMUT	BUZAMIENTO	Abreviacion	m	TIPO	ESPESOR	
1	E	N 300°	75° NE	2	0.80	Li	< 5mm	2
	E	N 306°	78° NE	2	0.85	Li	< 5mm	2
	E	N 304°	73° NE	2	0.90	Li	< 5mm	2
2	FR	N 105°	45° NE	2	0.65	Li	< 5mm	3
	FR	N 100°	43° NE	2	0.70	Li	< 5mm	2
	FR	N 106°	48° NE	2	0.68	Li	< 5mm	3
3	FR	N 65°	38° NW	3	0.50	Li	< 5mm	3
	FR	N 60°	36° NW	3	0.30	Li	< 5mm	2
	FR	N 62°	35° NW	3	0.40	Li	< 5mm	2
4	FR	N 43°	70° SE	3	0.50	Li	< 5mm	3
	FR	N 42°	63° SE	3	0.55	Li	< 5mm	2
	FR	N 40°	65° SE	3	0.50	Li	< 5mm	3

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)														VALORACI.	
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)			>250	(15)		100-250	(12)	X	50-100	(7)		25-50	(4)		<25(2) <5(1) <1(0)	1	7
RQD %			90-100	(20)		75-90	(17)	X	50-75	(13)		25-50	(8)		<25 (3)	2	13
ESPACIAMIENTO (m)			>2	(20)		0,6-2	(15)	X	0.2-0.6	(10)		0.06-0.2	(8)		< 0.06 (5)	3	10
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA		<1m long.	(6)	X	1-3 m Long.	(4)		3-10m	(2)		10-20 m	(1)		> 20 m (0)	4A	4
	ABERTURA		Cerrada	(6)		<0.1mm apert.	(5)		0.1-1.0mm	(4)	x	1 - 5 mm	(1)		> 5 mm (0)	4B	1
	RUGOSIDAD		Muy rugosa	(6)		Rugosa	(5)		Lig.rugosa	(3)	x	Lisa	(1)		Espejo de falla (0)	4C	1
	RELLENO		Limpia	(6)		Duro < 5mm	(4)		Duro> 5mm	(2)	x	Suave < 5 mm	(2)		Suave > 5 mm (0)	4D	2
	ALTERACION		Sana	(6)		Lig. Alterada.	(5)	x	Mod.Alterada.	(3)		Muy Alterada.	(2)		Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA		x	Seco	(15)		Humedo	(10)		Mojado	(7)		Goteo	(4)		Flujo (0)	5	15
															VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5)	=	56

CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular	III Regular	IV Mala	IV Mala	V Muy Mala	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Ar-f	Arenisca de garno fino
Ar-m	Arenisca de garno medio
Ar-g	Arenisca de garno grueso
Lu	Lutita

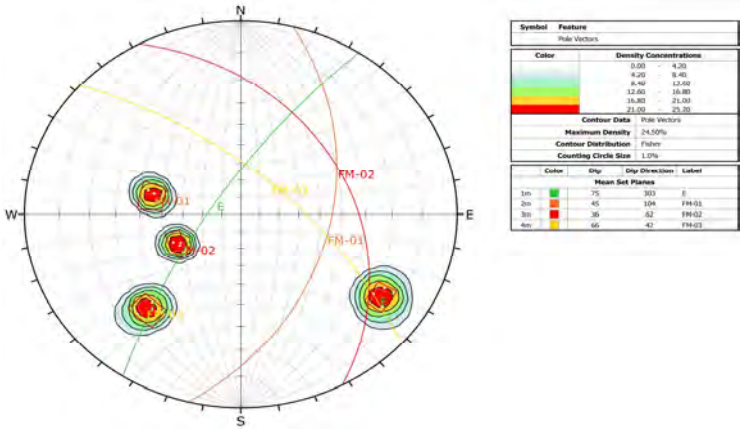
ABREVIACION TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Junta
F	Falla
FR	Fracturas
E	Estratificacion

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Are	Arenas	Gr	Gravas
Arc	Arcilla	Li	Limos
Cb	Carbonatos	Si	Silice

ABREVIACION DEL ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. (MPa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250





Anexo B: Medición de caudal en manantiales y captaciones

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE CAPTACIÓN: CAP-01 **COORDENADAS:** **N:** 8501177 **E:** 191071

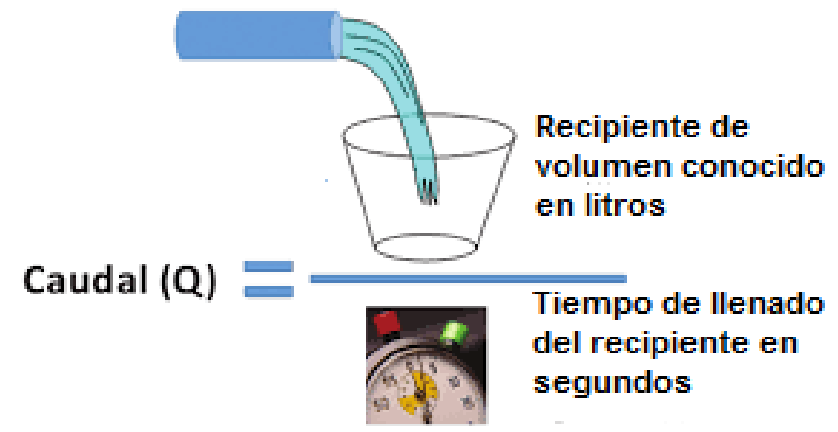
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipientede 1 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	1	1	1	
TIEMPO (s)	78	81	50	
CAUDAL (L/s)	0.013	0.012	0.020	0.045 L/s

OBSERVACIONES

. Es una captación temporal, se activa en temporadas de lluvias y tiene bajo caudal.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE CAPTACIÓN: CAP-02 **COORDENADAS:** **N:** 8501162 **E:** 191055

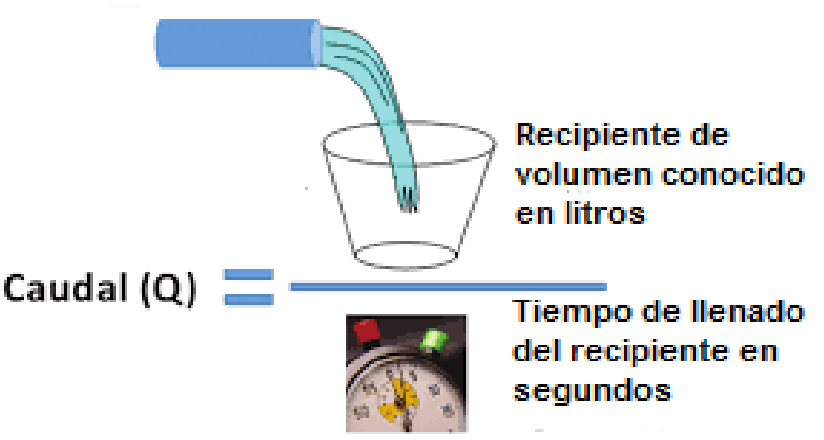
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 1 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	1	1	1	
TIEMPO (s)	79	74	50	
CAUDAL (L/s)	0.013	0.014	0.020	0.046 L/s

OBSERVACIONES

. Es una captación temporal, se activa en temporadas de lluvias y tiene bajo caudal.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE CAPTACIÓN: CAP-03 **COORDENADAS:** **N:** 8501159 **E:** 191029

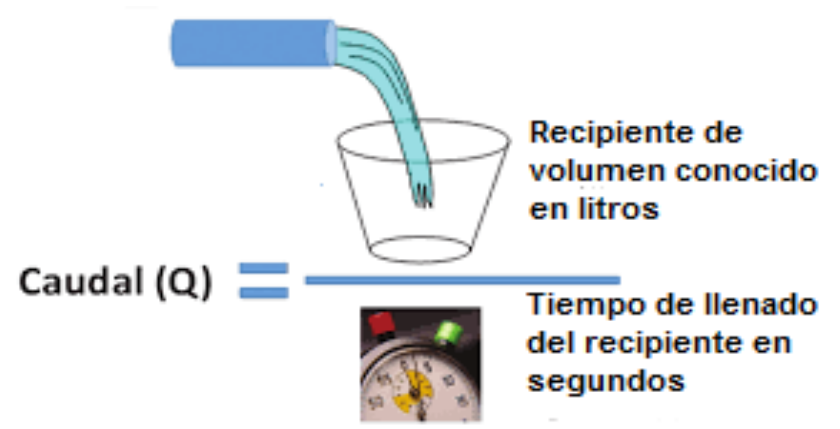
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 1 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	TUBERIA 4	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	1	1	1	1	
TIEMPO (s)	21	25	17	6	
CAUDAL (L/s)	0.048	0.040	0.059	0.167	0.313

OBSERVACIONES

. Es una captación permanente, en temporadas de sequia tiende a bajar su caudal.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE CAPTACIÓN: CAP-04 **COORDENADAS:** **N:** 8501144 **E:** 191020

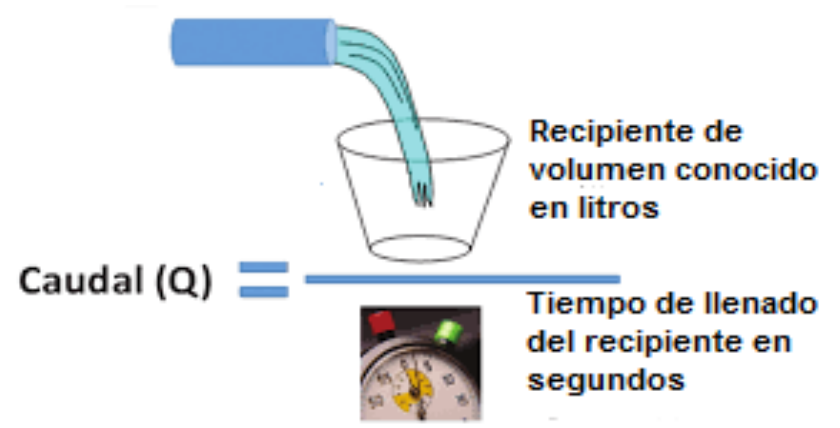
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 1 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	1	1	1	
TIEMPO (s)	68	81	92	
CAUDAL (L/s)	0.015	0.012	0.011	0.038 L/s

OBSERVACIONES

. Es una captación temporal, se activa en temporadas de lluvias y tiene bajo caudal.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE CAPTACIÓN: CAP-05 **COORDENADAS:** **N:** 8501140 **E:** 191002

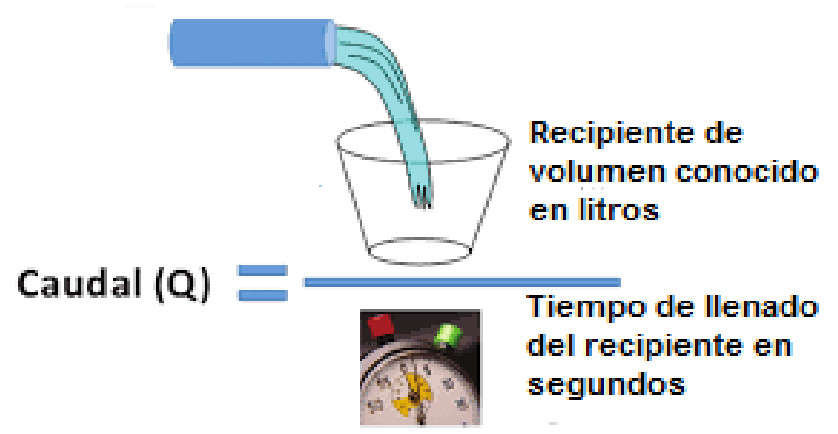
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	2	2	2	
TIEMPO (s)	19	20	12	
CAUDAL (L/s)	0.105	0.100	0.167	0.372 L/s

OBSERVACIONES

. Es una captación permanente, en temporadas de sequia tiende a bajar su caudal.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE CAPTACIÓN: CAP-06 **COORDENADAS:** **N:** 8501134 **E:** 190987

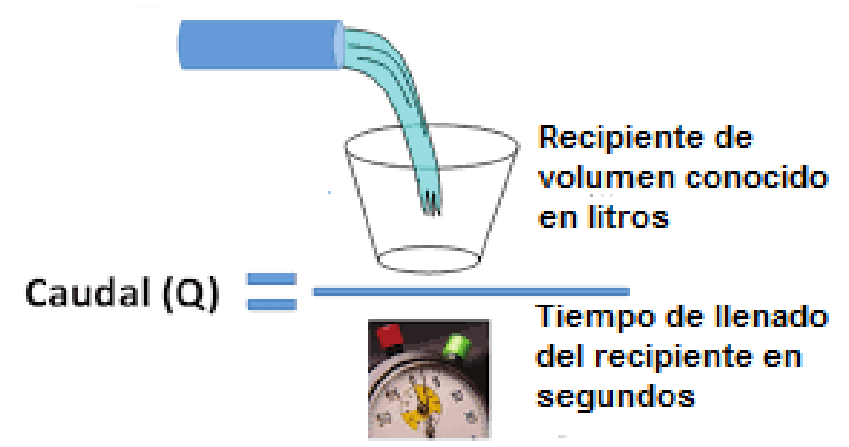
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	2	2	2	
TIEMPO (s)	6	5	6	
CAUDAL (L/s)	0.333	0.400	0.333	1.067 L/s

OBSERVACIONES

. Es una captación permanente.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE CAPTACIÓN: CAP-07 **COORDENADAS:** **N:** 8501124 **E:** 190966

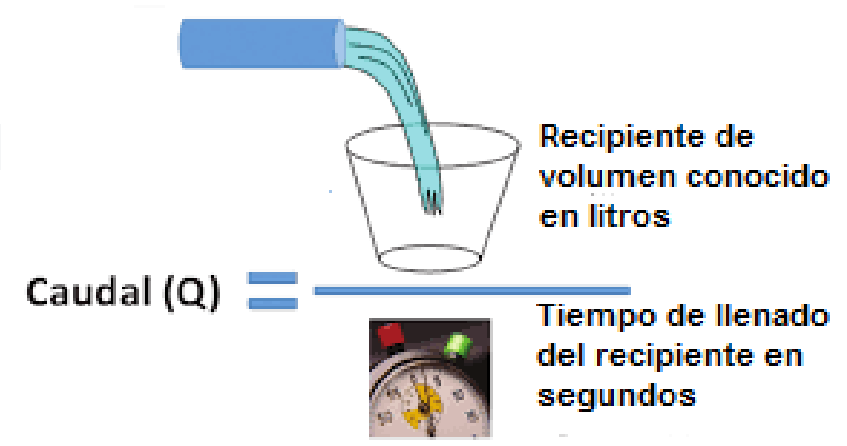
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	2	2	2	
TIEMPO (s)	8	8	7	
CAUDAL (L/s)	0.250	0.250	0.286	0.786 L/s

OBSERVACIONES

. Es una captación permanente.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE CAPTACIÓN: CAP-08 **COORDENADAS:** **N:** 8501095 **E:** 190941

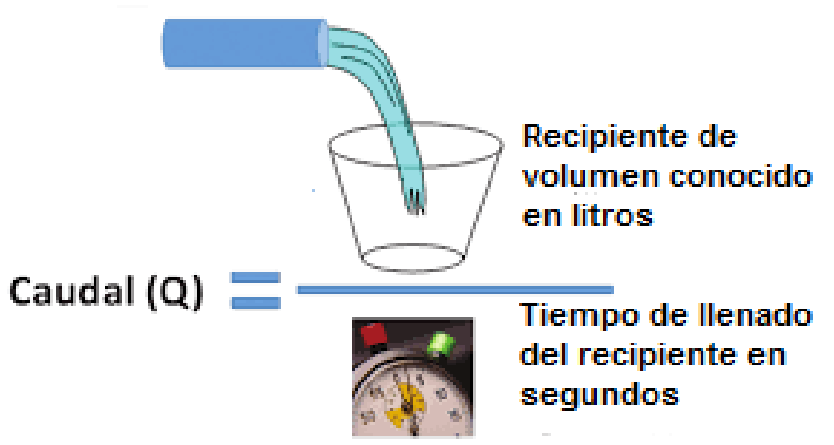
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	2	2	2	
TIEMPO (s)	5	5	6	
CAUDAL (L/s)	0.400	0.400	0.333	1.133 L/s

OBSERVACIONES

. Es una captación permanente.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE CAPTACIÓN: CAP-09 **COORDENADAS:** **N:** 8501044 **E:** 190910

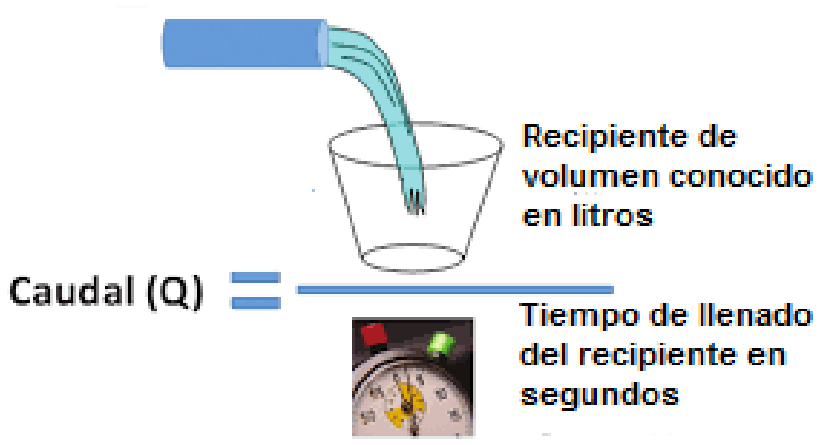
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	TUBERIA 1	TUBERIA 2	TUBERIA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	2	2	2	
TIEMPO (s)	9	8	7	
CAUDAL (L/s)	0.222	0.250	0.286	0.758 L/s

OBSERVACIONES

. Es una captación permanente.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE MANANTIAL: MB-01 **COORDENADAS:** **N:** 8501122 **E:** 190981

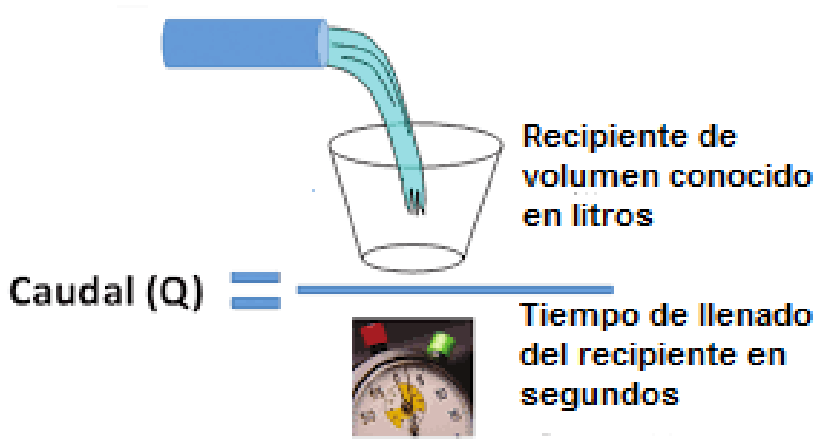
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	2	2	2	
TIEMPO (s)	120	124	123	
CAUDAL (L/s)	0.017	0.016	0.016	0.016 L/s

OBSERVACIONES

. Es un manantial permanente que filtra al cause de la cuenca.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE MANANTIAL: MB-02 **COORDENADAS:** **N:** 8501103 **E:** 190956

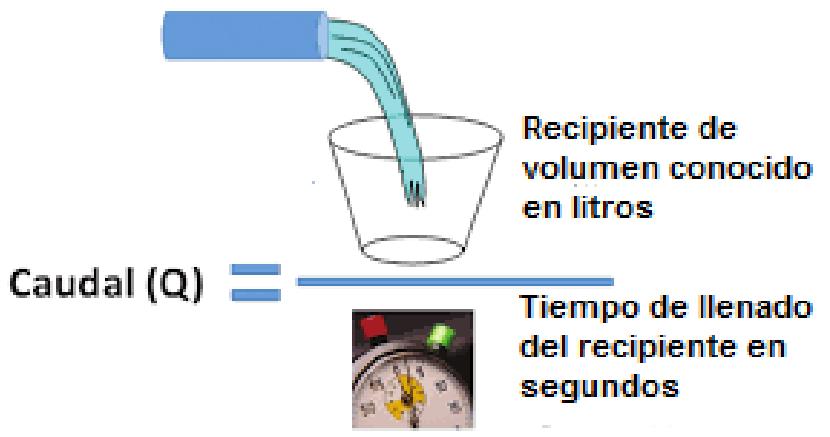
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	4	4	4	
TIEMPO (s)	7	6	7	
CAUDAL (L/s)	0.571	0.667	0.571	0.603 L/s

OBSERVACIONES

. Es un manantial permanente que filtra al cause de la cuenca.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE MANANTIAL: MB-03 **COORDENADAS:** **N:** 8501015 **E:** 190887

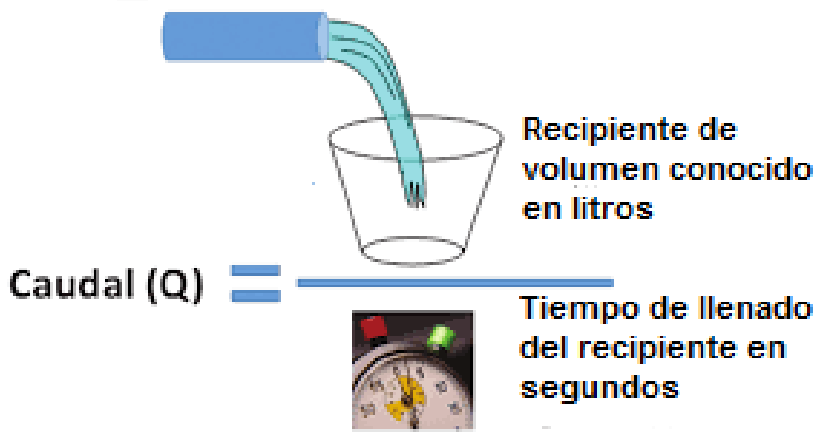
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	2	2	2	
TIEMPO (s)	33	32	32	
CAUDAL (L/s)	0.061	0.063	0.063	0.062 L/s

OBSERVACIONES

. Es un manantial permanente que filtra al cause de la cuenca.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE MANANTIAL: MB-04 **COORDENADAS:** **N:** 8500939 **E:** 190817

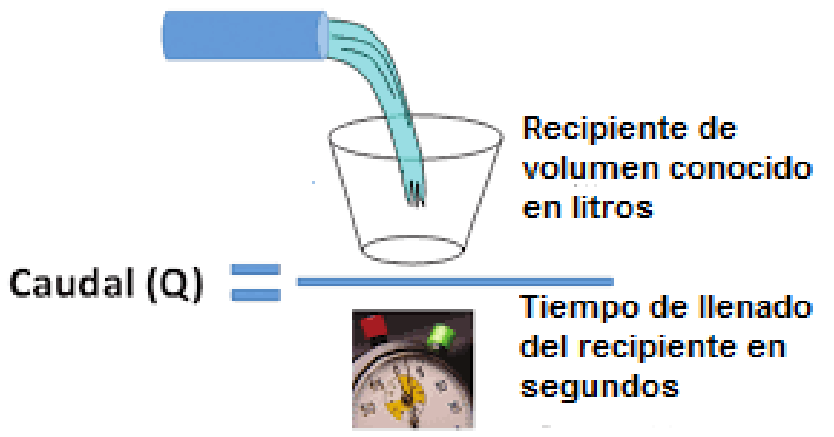
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	2	2	2	
TIEMPO (s)	24	23	24	
CAUDAL (L/s)	0.083	0.087	0.083	0.085 L/s

OBSERVACIONES

. Es un manantial permanente que filtra al cause de la cuenca.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE MANANTE: MA-01 **COORDENADAS:** **N:** 8502554 **E:** 192020

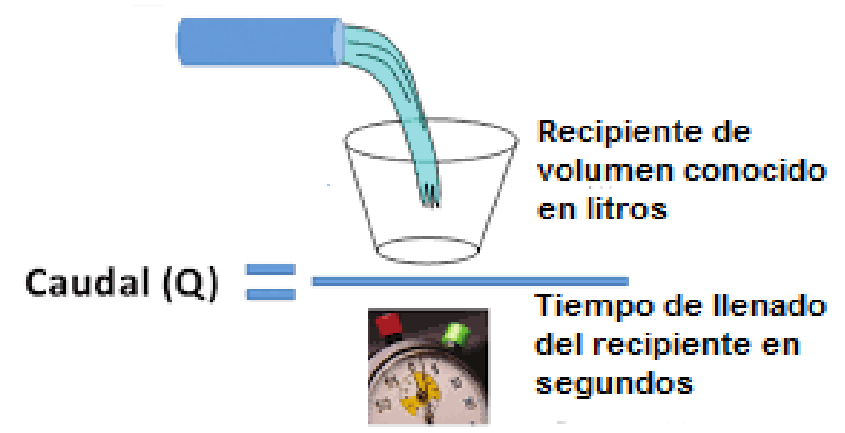
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 1 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	1	2	3	4	CAUDAL PROMEDIO
VOLUMEN (L)	1	1	1	1	
TIEMPO (s)	248	238	257	229	
CAUDAL (L/s)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004

OBSERVACIONES

Se encontro un amanate en la parte alta de la cuenca con un caudal muy bajo que filtra de depositos cuaternarios.

PANEL FOTOGRAFICO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE MANANTE: MA-02 **COORDENADAS:** **N:** 8502351 **E:** 192260

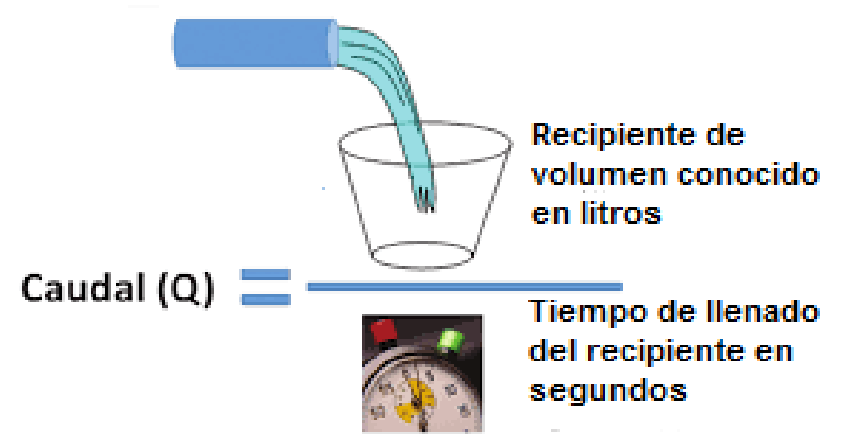
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 1 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	1	2	3	4	CAUDAL PROMEDIO
VOLUMEN (L)	1	1	1	1	
TIEMPO (s)	318	325	318	325	
CAUDAL (L/s)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003

OBSERVACIONES

Se encontro un amanate en la parte alta de la cuenca con un caudal muy bajo que filtra de depositos cuaternarios.

PANEL FOTOGRAFICO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE ENSAYO: R-01 **COORDENADAS:** **N:** 8500976 **E:** 190835

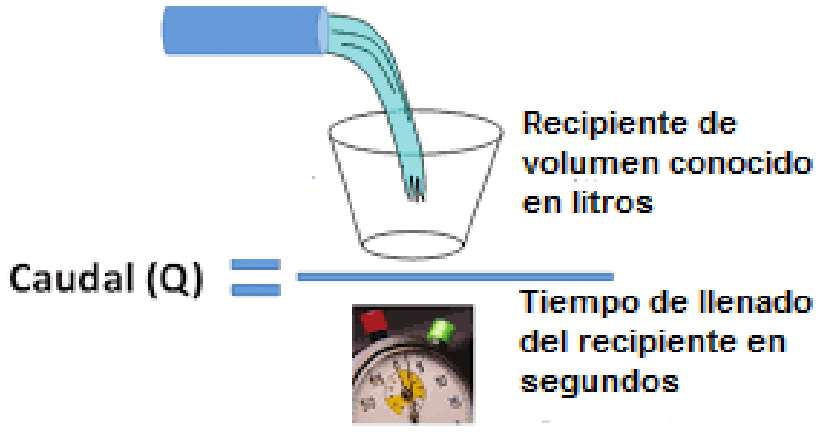
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	4	4	4	
TIEMPO (s)	5	5	6	
CAUDAL (L/s)	0.800	0.800	0.667	0.756 L/s

OBSERVACIONES

. Se determino el caudal del cause principal en 3 puntos.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE ENSAYO: R-02 **COORDENADAS:** **N:** 8500858 **E:** 190769

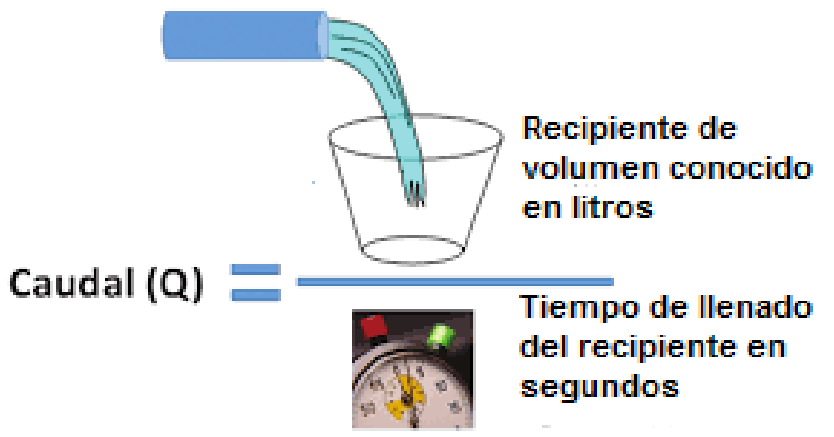
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 5 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	4	4	4	
TIEMPO (s)	3	3	3	
CAUDAL (L/s)	1.333	1.333	1.333	1.333 L/s

OBSERVACIONES

. Se determino el caudal del cause principal en 3 puntos.

PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MEDICIÓN DE CAUDAL EN MANANTIALES Y CAPTACIONES

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

N° DE ENSAYO: R-03 **COORDENADAS:** **N:** 8499977 **E:** 190683

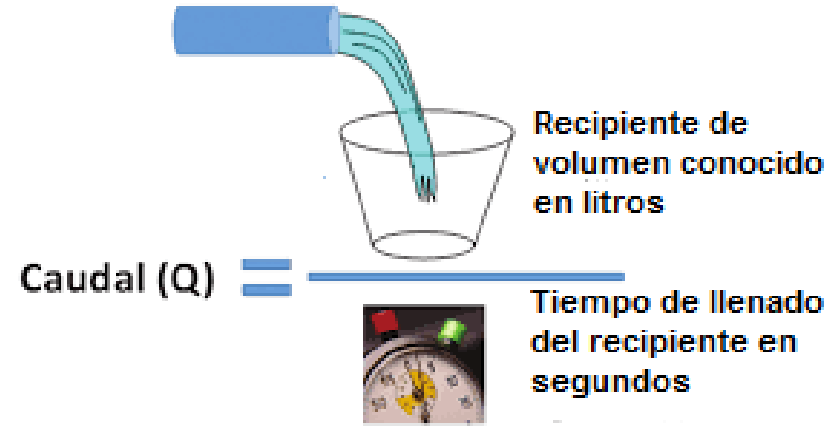
EQUIPOS UTILIZADOS: Recipiente de 10 litro y cronometro

MEDICIÓN DE CAUDAL

MÉTODO DE MEDICIÓN: : Método volumetrico

TIEMPO DE LLENADO (t) : Segundos

VOLUMEN RECOLECTADO (V) : Litros



N°	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	CAUDAL DE LA CAPTACIÓN
VOLUMEN (L)	10	10	10	
TIEMPO (s)	5	4	5	
CAUDAL (L/s)	2.000	2.500	2.000	2.167 L/s

OBSERVACIONES

. Se determino el caudal del cause principal en 3 puntos.

PANEL FOTOGRAFICO



Anexo C: Ensayos de infiltración (Método Porchet)

PUNTOS DE ENSAYO (Metodo Porchet)

ENSAYO DE INFILTRACIÓN (METODO PORCHET)

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

Ubicación:	Parte alta de la microcuenca de Joctopuquio	**Formacion geologica:**	Deposito eluvial
Sistema WGS 84 (UTM):	N: 8502867.62 E: 192193.98 Elevación:(msnm): 4165.23	**Descripción:**	Grava con matriz limo arcillosa de coloracion negra
Realizado por:	Br. Jhon Nina Villena Br. Edith Huamani Flores	**Asesor:**	Ing. Ivan Caceres Angulo
		N°	**1**

DATOS DE CAMPO

ECUACION:

$$km = \frac{\pi d^2}{11 D \Delta t} \ln\left(\frac{H1}{H2}\right)$$

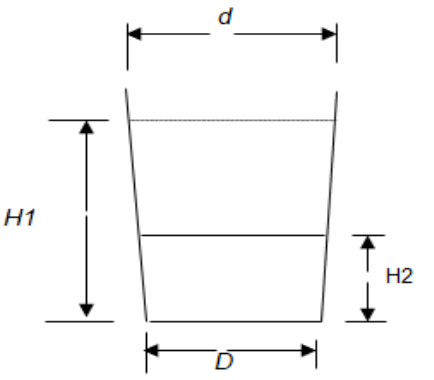
1	km = Conductividad Hidráulica media (cm / seg)
2	d = Diámetro del tubo superior (cm)
3	D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)
4	H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)
5	H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)
6	Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)

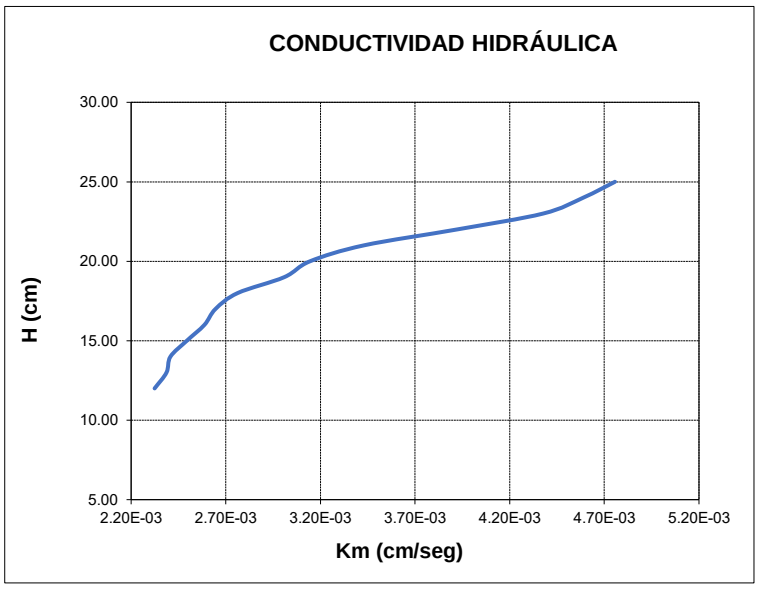
DATOS DE PRUEBA:

1	d =	27.60	cm	3.10E-03
2	D =	23.00	cm	RESULTADOS
3	H1 =	26.00	cm	km(m/s)
4	H2 =	12.00	cm	3.10E-05
5	Δt =	3147.00	seg	km(m/dia)
6	km =	2.32E-03	cm/seg	2.68

VARIACIÓN DE k:

N°	H	t	Km
1	26.00	0.00	
2	25.00	78.00	4.756E-03
3	24.00	165.00	4.589E-03
4	23.00	265.00	4.376E-03
5	22.00	403.00	3.921E-03
6	21.00	589.00	3.430E-03
7	20.00	789.00	3.145E-03
8	19.00	986.00	3.009E-03
9	18.00	1259.00	2.763E-03
10	17.00	1519.00	2.646E-03
11	16.00	1775.00	2.587E-03
12	15.00	2086.00	2.494E-03
13	14.00	2432.00	2.408E-03
14	13.00	2747.00	2.387E-03
15	12.00	3147.00	2.324E-03





VALORES DE PERMEABILIDAD

Permeabilidad (m/día)	10^4	10^2	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena			Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas		
Calificación	Buenos acuíferos					Acuíferos pobres			Impermeables		
Capacidad de drenaje	Drenan bien					Drenan mal			No drenan		

PANEL FOTOGRAFICO





PUNTOS DE ENSAYO (Metodo Porchet)

ENSAYO DE INFILTRACIÓN (METODO PORCHET)

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

Ubicación:	Parte alta de la microcuenca de Joctopuquio	**Formacion geologica:**	Deposito deluvial
Sistema WGS 84 (UTM):	N: 8502626.87 E: 192172.86 Elevación:(msnm): 4094.23	**Descripción:**	Grava con matriz limo arenosa de coloracion pardo rojizo.
Realizado por:	Br. Jhon Nina Villena Br. Edith Huamani Flores	**Asesor:**	Ing. Ivan Caceres Angulo
		N°	**2**

DATOS DE CAMPO

ECUACION:

$$km = \frac{\pi d^2}{11 D \Delta t} \ln\left(\frac{H1}{H2}\right)$$

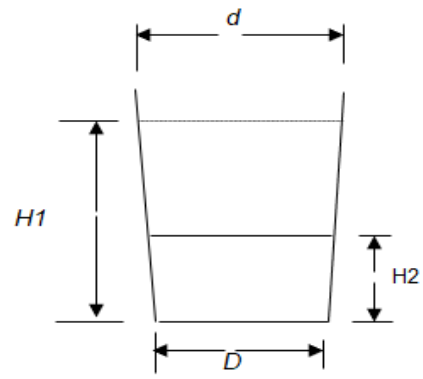
1	km = Conductividad Hidráulica media (cm / seg)
2	d = Diámetro del tubo superior (cm)
3	D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)
4	H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)
5	H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)
6	Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)

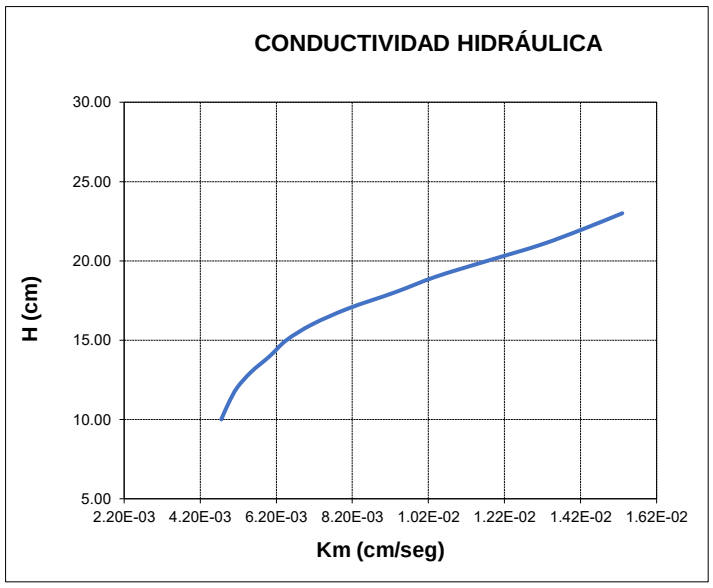
DATOS DE PRUEBA:

1	d =	28.40	cm	8.07E-03
2	D =	24.65	cm	RESULTADOS
3	H1 =	26.00	cm	km(m/s)
4	H2 =	10.00	cm	8.07E-05
5	Δt =	1721.00	seg	km(m/dia)
6	km =	5.19E-03	cm/seg	6.97

VARIACIÓN DE k:

N°	H	t	Km
1	24.00	0.00	
2	23.00	26.00	1.530E-02
3	22.00	57.00	1.427E-02
4	21.00	95.00	1.314E-02
5	20.00	145.00	1.175E-02
6	19.00	210.00	1.040E-02
7	18.00	289.00	9.302E-03
8	17.00	398.00	8.097E-03
9	16.00	530.00	7.149E-03
10	15.00	679.00	6.469E-03
11	14.00	835.00	6.032E-03
12	13.00	1034.00	5.541E-03
13	12.00	1253.00	5.170E-03
14	11.00	1476.00	4.939E-03
15	10.00	1721.00	4.754E-03





VALORES DE PERMEABILIDAD

Permeabilidad (m/día)	10^4	10^2	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena			Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas		
Calificación	Buenos acuíferos					Acuíferos pobres			Impermeables		
Capacidad de drenaje	Drenan bien					Drenan mal			No drenan		

PANEL FOTOGRAFICO





PUNTOS DE ENSAYO (Metodo Porchet)

ENSAYO DE INFILTRACIÓN (METODO PORCHET)

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

Ubicación:	Parte alta de la microcuenca de Joctopuquio	**Formacion geologica:**	Deposito deluvial
Sistema WGS 84 (UTM):	N: 8501181.12 E: 191008.44 Elevación:(msnm): 3434.65	**Descripción:**	Grava con matriz arenosa de coloracion pardo rojizo.
Realizado por:	Br. Jhon Nina Villena Br. Edith Huamani Flores	**Asesor:**	Ing. Ivan Caceres Angulo
		N°	**3**

DATOS DE CAMPO

ECUACION:

$$km = \frac{\pi d^2}{11 D \Delta t} \ln\left(\frac{H1}{H2}\right)$$

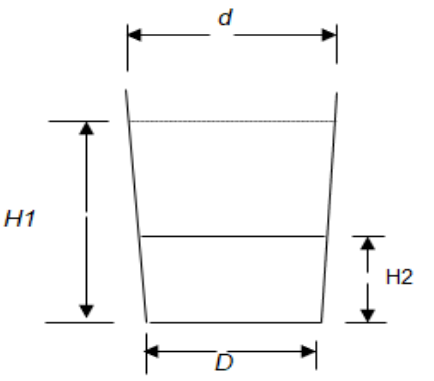
1	km = Conductividad Hidráulica media (cm / seg)
2	d = Diámetro del tubo superior (cm)
3	D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)
4	H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)
5	H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)
6	Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)

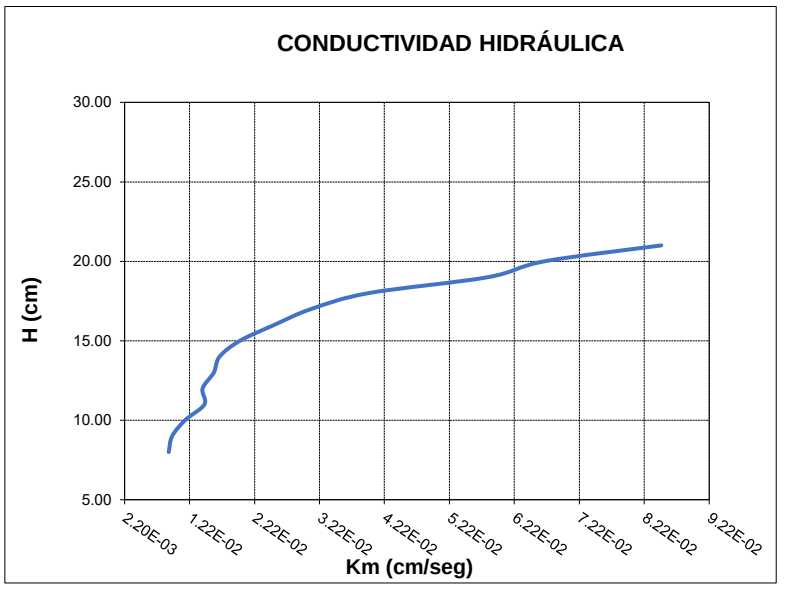
DATOS DE PRUEBA:

1	d =	26.80	cm	2.29E-02
2	D =	22.50	cm	RESULTADOS
3	H1 =	26.00	cm	km(m/s)
4	H2 =	8.00	cm	2.29E-04
5	Δt =	1026.00	seg	km(m/dia)
6	km =	1.05E-02	cm/seg	19.81

VARIACIÓN DE k:

N°	H	t	Km
1	22.00	0.00	
2	21.00	5.00	8.482E-02
3	20.00	13.00	6.684E-02
4	19.00	23.00	5.811E-02
5	18.00	46.00	3.977E-02
6	17.00	76.00	3.093E-02
7	16.00	115.00	2.525E-02
8	15.00	175.00	1.995E-02
9	14.00	245.00	1.682E-02
10	13.00	301.00	1.593E-02
11	12.00	389.00	1.421E-02
12	11.00	436.00	1.449E-02
13	10.00	625.00	1.150E-02
14	9.00	856.00	9.520E-03
15	8.00	1026.00	8.989E-03





VALORES DE PERMEABILIDAD

Permeabilidad (m/día)	10^4	10^2	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena			Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas		
Calificación	Buenos acuíferos					Acuíferos pobres			Impermeables		
Capacidad de drenaje	Drenan bien					Drenan mal			No drenan		

PANEL FOTOGRAFICO





PUNTOS DE ENSAYO (Metodo Porchet)

ENSAYO DE INFILTRACIÓN (METODO PORCHET)

DATOS GENERALES

PROYECTO: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

Ubicación:	Parte alta de la microcuenca de Joctopuquio	**Formacion geologica:**	Deposito deluvial
Sistema WGS 84 (UTM):	N: 8500608.53 E: 190800.60 Elevación:(msnm): 3434.65	**Descripción:**	Grava con matriz limo arenosa de coloracion pardo rojizo.
Realizado por:	Br. Jhon Nina Villena Br. Edith Huamani Flores	**Asesor:**	Ing. Ivan Caceres Angulo
		N°	**4**

DATOS DE CAMPO

ECUACION:

$$km = \frac{\pi d^2}{11 D \Delta t} \ln\left(\frac{H1}{H2}\right)$$

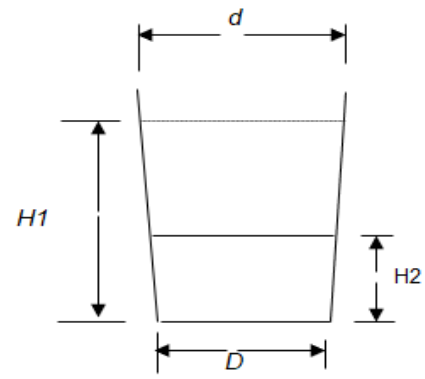
1	km = Conductividad Hidráulica media (cm / seg)
2	d = Diámetro del tubo superior (cm)
3	D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)
4	H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)
5	H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)
6	Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)

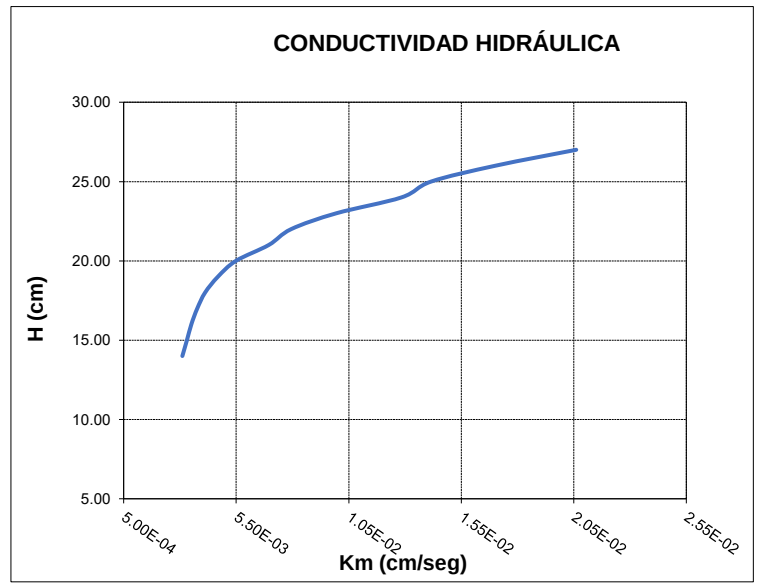
DATOS DE PRUEBA:

1	d =	25.00	cm	6.85E-03
2	D =	21.00	cm	RESULTADOS
3	H1 =	28.00	cm	km(m/s)
4	H2 =	14.00	cm	6.85E-05
5	Δt =	1896.00	seg	km(m/dia)
6	km =	3.11E-03	cm/seg	5.92

VARIACIÓN DE k:

N°	H	t	Km
1	28.00	0.00	
2	27.00	15.00	2.061E-02
3	26.00	37.00	1.702E-02
4	25.00	68.00	1.417E-02
5	24.00	102.00	1.285E-02
6	23.00	168.00	9.953E-03
7	22.00	258.00	7.945E-03
8	21.00	352.00	6.947E-03
9	20.00	521.00	5.489E-03
10	19.00	703.00	4.688E-03
11	18.00	912.00	4.118E-03
12	17.00	1125.00	3.770E-03
13	16.00	1356.00	3.508E-03
14	15.00	1602.00	3.312E-03
15	14.00	1896.00	3.107E-03





VALORES DE PERMEABILIDAD

Permeabilidad (m/día)	10^4 10^2	10^2 10^1	1 10^{-1}	10^{-2} 10^{-3}	10^{-4} 10^{-5} 10^{-6}
Tipo de terreno	Grava limpia	Arena limpia; mezcla de grava y arena	Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas		Arcillas no meteorizadas
Calificación	Buenos acuíferos		Acuíferos pobres		Impermeables
Capacidad de drenaje	Drenan bien		Drenan mal		No drenan

PANEL FOTOGRAFICO





Anexo D: Informe de análisis químico de muestras de aguas.

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

Nº0089-26-LAQ

SOLICITANTE : **Br. JHON NINA VILLENA**
Br. EDITH HUAMANI FLORES

TESIS : **"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA PROPONER METODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DEL ACUIFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO-DISTRITO SAN JERONIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO- 2025"**

MUESTRA : **AGUAS**
P1, P2, P3 y P4

FUENTE : **MICROCUENCA JOCTOPUQUIO**

DISTRITO : **SAN JERONIMO**

PROVINCIA : **CUSCO**

REGION : **CUSCO**

FECHA : **C/13/04/2026**

ANALISIS FISICOQUIMICO:

	P1	P2	P3	P4
pH	7,53	7,30	6,96	7,55
C.E. uS/cm	194,20	198,00	6510,00	9028,00
Alcalinidad ppm $CaCO_3$	73,44	68,63	109,70	137,05
Calcio ppm	33,44	34,20	152,00	235,60
Magnesio ppm	5,52	4,14	32,20	50,60
Sodio ppm	2,70	2,30	1092,00	1506,00
Potasio ppm	0,10	0,10	78,20	144,20
Cloruros ppm	4,55	3,85	1820,00	2660,00
Sulfatos ppm	12,40	014,60,80	2840,00	4372,80
Bicarbonatos ppm	89,60	83,73	133,80	167,21
Carbonatos ppm	0	0	0	0
Nitratos ppm	12,10	10,30	210,00	196,60
SDT ppm	112,80	117,30	6594,00	9194,00

ANALISIS DEL AGUA, JEAN RODIER , 9º EDICION.

Cusco, 28 de Abril 2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Unidad de Prestación de Servicios Análisis
Ing. Rodolfo Herrera Arteaga
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Anexo E: Matriz de consistencia

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

MATRIZ DE CONSISISTENCIA

TITULO

"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA PROPONER MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFERO EN LA MICROCUENCA DE JOCTOPUQUIO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO -2025"

PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son las características hidrogeológicas de la zona, que nos permitirán proponer métodos de recarga artificial de los recursos hídricos en la microcuenca de Joctopuquio en el distrito de San Jerónimo, provincia Cusco, departamento Cusco?

ESPECIFICO

1. ¿Cuáles son las características geológicas para proponer métodos de recarga artificial en la microcuenca Joctopuquio?
2. ¿Cuáles son las características hidrogeológicas para proponer métodos de recarga artificial en la microcuenca Joctopuquio?
3. ¿Cuáles son los métodos de recarga artificial que se propondrá en la microcuenca Joctopuquio?

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio hidrogeológico y calcular el potencial hídrico para proponer métodos de recarga en la microcuenca de Joctopuquio en el distrito de San Jerónimo, provincia Cusco, departamento Cusco.

ESPECIFICO

1. Determinar la geología para proponer métodos de recarga artificial en la microcuenca Joctopuquio.
2. Determinar los parámetros hidrogeológicos para proponer métodos de recarga artificial en la microcuenca Joctopuquio.
3. Proponer métodos de recarga artificial de acuíferos en la microcuenca Joctopuquio.

HIPOTESIS GENERAL

Es posible recargar artificialmente el acuífero Kayra de la microcuenca de Joctopuquio con propuestas metodológicas adecuadas a la zona por medio del estudio hidrogeológico para una mayor infiltración de aguas pluviales.

ESPECIFICO

1.Las unides geológicas de origen Sedimentario se encuentran altamente fracturados por fallas Regionales y locales, por lo que las aguas subterráneas se encuentran dentro de la porosidad secundaria de las rocas (fracturas).
2. Los parámetros hidrogeológicos servirán para determinar acuíferos detríticos no consolidados y acuíferos fisurados en rocas sedimentarias.
3. El método de recarga propuesto es zanjas de infiltración debido al alto grado de fracturamiento de rocas y suelos permeables, esta nos ayudará a la captación e infiltración de aguas meteóricas y la reforestación con plantas nativas que nos ayudará en la retener la humedad en el suelo.

METODOLOGIA DE TRABAJO

ETAPA DE PRE-CAMPO	En esta etapa se realizará la recopilación y revisión de toda la información que ayude al desarrollo satisfactorio de nuestra zona
ETAPA DE CAMPO	En esta etapa se realizó recolección de datos en el terreno de nuestra zona de estudio que serán útiles para el estudio hidrogeológico
ETAPA DE GABINETE O POST-CAMPO	Seguidamente realizada la etapa de campo, debemos evaluar, analizar y procesar la información recolectada en campo

METODOLOGIA DE INVESTIGACION

TIPO DE INVESTIGACIÓN	Aplicada
ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	Mixta
ALCANCE DE INVESTIGACIÓN	Descriptiva
DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	No experimental- transversal