

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS
EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN – CAJAMARCA, 2018

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO

AUTOR:

Bach. GOICOCHEA CHÁVEZ, ODILFO

ASESOR:

Dr. Ing. QUISPE MAMANI, CRISPÍN ZENÓN

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Odilfo Goicochea Chávez
DNI : 44207843
Escuela Profesional : Ingeniería Geológica
2. Asesor : Crispín Zenón Quispe Mamani
Facultad : Ingeniería
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
1. Título de Trabajo de Investigación: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN – CAJAMARCA, 2018.
2. Fecha de evaluación : 12 de julio del 2022
3. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
4. Porcentaje de Informe de Similitud : 4%
5. Código Documento : D 141969366
6. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 21 de julio 2024

 <hr/> FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani DNI : 29243825	 <hr/> UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
--	--

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

AGRADECIMIENTO.

Mis más sinceros agradecimientos:

A mi querida **Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca** y a todos los docentes por su apoyo, motivación y han sido el eje fundamental para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración del proyecto de investigación.

A mi asesor de tesis al Dr. Ing. Crispín Zenón QUISPE MAMANI por transmitirme sus conocimientos, guíame para terminar dicho trabajo de investigación. Así mismo un reconocimiento especial a mi jurado, Dr. Ing. Segundo Reinaldo ROQUÍGUEZ CRUZADO, Dr. Ing. Alejandro LAGOS MANRIQUE, M.Cs. Ing. Roberto Severino GONZALES YANA, M.Cs. Ing. Víctor Ausberto ARAPA VILCA.

Agradezco a mi familia, amigos, compañeros de trabajo y a todos ustedes, porque gracias a su ayuda he podido lograr terminar dicho trabajo.

DEDICATORIA.

A Dios creador de los cielos, la tierra y debajo de la tierra, a mis padres y hermanos, por su ardua espera y tenaz paciencia, sin cuya moral, fraternal e intelectual, no habría sido posible lograr este proyecto de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍTEM	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. GEOLOGÍA	5
2.2.2. FISIOGRAFÍA E HIDROLOGÍA	5
2.2.3. HIDROGEOLOGÍA.....	7
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	11
2.4. TEORÍAS RELATIVAS AL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	21
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICA	21
3.1.2. LA MICROCUENCA HIDROLÓGICA DEL RÍO AGUA COLORADA	21
3.1.3. ACCESIBILIDAD A LA ZONA DE ESTUDIO	23
3.2. FISIOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	24
3.2.1. UNIDADES GEOGRÁFICAS.....	24
3.2.2. DRENAJE	26
3.2.3. EL RÍO AGUA COLORADA.....	26
3.2.4. EL VALLE DE JOSÉ GÁLVEZ Y SUCRE.....	27
3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN.....	28
3.3.1. CLIMA	28
3.3.2. VEGETACIÓN.....	28
3.4. DEMOGRAFÍA	29
3.4.1. RECURSOS AGROPECUARIOS E INDUSTRIALES.....	29

3.4.2.	POBLACIÓN	30
3.5.	CARACTERISTICAS LOCALES	32
3.6.	TÉCNICAS DE GABINETE	33
3.6.1.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y FUENTES DE DATOS	33
3.6.2.	CONTROL DE CALIDAD Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	33
3.6.3.	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	33
3.7.	TÉCNICAS DE CAMPO	37
3.7.1.	INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	37
3.7.2.	AFORO DE MANANTIALES.....	38
3.7.3.	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD	39
3.8.	METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACION	46
3.8.1.	TIPO Y MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	46
3.8.2.	POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	47
3.8.3.	MUESTRA.....	47
3.8.4.	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	47
3.8.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	47
3.8.6.	EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN	48
3.8.7.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	48
3.8.8.	ANÁLISIS MORFOLÓGICO	49
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		51
4.1.	GEOLOGÍA	51
4.2.	GEOLOGÍA LOCAL.....	53
4.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	66
4.4.	GEOMORFOLOGÍA	68
4.4.1.	UNIDADES MORFOLÓGICAS.....	68
4.4.2.	PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS	68
4.5.	HIDROLOGÍA.....	71
4.5.1.	RÍOS	72
4.5.2.	QUEBRADAS.....	72
4.5.3.	PRECIPITACIÓN	72
4.5.4.	INFILTRACIÓN	72
4.5.5.	BALANCE HIDROLÓGICO	72
4.6.	HIDROGEOLOGÍA.....	74
4.6.1.	INVENTARIOS DE MANANTIALES	74
4.6.2.	PARÁMETROS HIDRÁULICOS.....	76

4.7.	CONTEXTO HIDROGEOLOGICO	76
4.7.1.	AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS ROCAS ÍGNEAS – VOLCÁNICAS	76
4.7.2.	AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS	77
4.8.	CARACTERIZACION DEL MEDIO HIDRAULICO	78
4.8.1.	DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN LAS UNIDADES HIDROGEOLOGICAS.....	78
4.8.2.	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO DEL MEDIO	79
4.9.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	79
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		80
ANEXOS		83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla Nro. 1: Forma de la cuenca en función al factor de forma.....	15
Tabla Nro. 2: Índice de Gravelius para la evaluación de la forma	16
Tabla Nro. 3: Clasificación de la pendiente en grados sexagesimales. (°).....	17
Tabla Nro. 4: Vértice de la zona de estudio	21
Tabla Nro. 5: Acceso a la zona de estudio.....	23
Tabla Nro. 6: Población total del 2003 al 2017 de la provincia de Celendín de departamento de Cajamarca.....	31
Tabla Nro. 7: Población total del año 2017 del distrito José Gálvez.....	31
Tabla Nro. 8: Depósitos aflorantes en la zona de estudio	32
Tabla Nro. 9: Clasificación de las unidades hidrogeológicas en función de su litología.....	34
Tabla Nro. 10: Porosidad (m%).....	34
Tabla Nro. 11: Permeabilidad (K m/día).....	34
Tabla Nro. 12: Clasificación hidrogeológica por símbolos.....	35
Tabla Nro. 13: Comportamiento de la permeabilidad según los valores	36
Tabla Nro. 14: Clasificación hidrogeológica según "Porosidad (m)" y "K"	36
Tabla Nro. 15: Síntesis estratigráfica del Cretáceo del norte del Perú	64
Tabla Nro. 16: Parámetros Geomorfológicos	68
Tabla Nro. 17: Balance hidrológico de la microcuenca	73
Tabla Nro. 18: Número de fuentes de agua inventariada por subcuenca	74
Tabla Nro. 19: Inventario de fuentes de agua de la microcuenca	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura Nro. 1: Tipos de acuíferos según su textura, según González de Vallejo, (2002).....	11
Figura Nro. 2: Dimensiones de una cuenca hidrográfica, Villon (2002).....	15
Figura Nro. 3: Clasificación de los ríos de acuerdo con la curva hipsométrica, Llamas (1993).	18
Figura Nro. 4: Ubicación de la microcuenca hidrológica de la zona de estudio, la zona de estudio pertenece a la Inter cuenca alto marañón IV con 21.12 Km ²	22
Figura Nro. 5: Imagen ráster de la provincia de Celendín, la altitud máxima 4 212 msnm y mínima 638 msnm, año 2016.	25
Figura Nro. 6: Datos de Temperatura y Precipitación del Senamhi - año 2021....	28

Figura Nro. 7: Gráfico de los depósitos en porcentajes.....	32
Figura Nro. 8: Equipo utilizado para la medición de parámetros físicoquímicos en campo, es medidor digital HI98128 con este equipo se realizó las mediciones de pH, temperatura (°C).....	38
Figura Nro. 9: Cada foto fue tomada representando la mayor área. Nótese el acercamiento (Zoom) está fijando en el rectángulo para lograr visualizar la densidad de fracturas	41
Figura Nro. 10: Ejemplo de trazas de fracturas. En cada caso se trazaron manualmente cada una de las trazas de fracturas usando papel transparente colocando la fotografía y se registró su longitud y área para cada fotografía.....	42
Figura Nro. 11: Gráfica en espacio logarítmico de densidad de fractura contra área (Nieto, 2003). Nótese que existe un valor máximo de la densidad que tiene a la horizontal con el cambio de área.	43
Figura Nro. 12: Superior: diagrama para el cálculo de la permeabilidad en dirección horizontal y vertical de una red estocástica de fracturas en una superficie de 10 m ² (Zimmermann et al., 2000). Inferior: Diagrama que relaciona a la densidad y longitud de fracturas.....	44
Figura Nro. 13: Escala de correlación entre conductividad hidráulica, longitud y densidad de fracturas en una superficie de 10 m ²	45
Figura Nro. 14: Diagrama de cálculo de la permeabilidad (K) en una red estocástica de fracturas en función de su densidad del fracturamiento (D). Obsérvese la curva y ecuación potencial que correlacionan las dos variables.	45
Figura Nro. 15: Metodología de trabajo.....	46
Figura Nro. 16: Diagrama de flujo modificado para la obtención de cada uno de los planos (Sheng, 1972).	49
Figura Nro. 17: Mapa estructural simplificado de la margen peruana.	52
Figura Nro. 18: Columna estratigráfica regional.	65
Figura Nro. 19: Ubicación de los cortes geológicos, Tomados del Plano Nro. 05: Geológico – Estructural.....	67
Figura Nro. 20: Curva hipsométrica de la microcuenca hidrográfica del río agua colorada.	70
Figura Nro. 21: Sistema de drenaje de la Microcuenca hidrográfica.	71
Figura Nro. 22: Gráfico de las precipitaciones anuales de 6 años de Estación Celendín.....	73

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto Nro. 1: Vista panorámica de la naciente del río agua colorada, fotografía mirando al suroeste (SW), en julio del 2013.	26
Foto Nro. 2: Vista panorámica del valle de José Gálvez y Sucre, fotografía mirando al noreste (NE), en marzo del 2013.	27
Foto Nro. 3: Vista Panorámica del centro poblado de Alpacocha, distrito de José Gálvez, mirando suroeste (SW), marzo 2018.....	27
Foto Nro. 4: Fotografía de la vegetación y su principal actividad la ganadería, marzo 2019.	29
Foto Nro. 5: Fotografía de recursos agropecuarios, en la Yerba Buena, Alpacocha marzo del 2019.....	30
Foto Nro. 6: Método volumétrico del balde/cronómetro para el caudal de manantiales.....	39
Foto Nro. 7: Ensayo de infiltración puntual en diferentes afloramientos rocosos. A la izquierda, detalle de la carga hidráulica. Al centro, detalle del permeámetro cargado de agua. A la derecha, detalle de la medida del descenso de agua en el permeámetro después de 5 minutos.....	40
Foto Nro. 8: Fm Chulec en el caserío de Huañambra, con vistas al suroeste (SW).....	54
Foto Nro. 9: Fm Yumagual, aflora en la comunidad de Quillimbash, vista al suroeste (SW).	56
Foto Nro. 10: Fm Mujarún y Quilquiñán, aflorante en Quillimbash, vista al suroeste (SW).	58
Foto Nro. 11: Fm. Cajamarca, aflorante en Quillimbash y Alpacocha, Vista al oeste (W).	59
Foto Nro. 12: Formación Celendín, está aflorante solo en la microcuenca Uñigan, Vista al noreste (NE).....	60
Foto Nro. 13: Afloramiento del volcánico Huambos, tiene mayor área en la zona de estudio y se observan siete (07) manantiales.	61
Foto Nro. 14: Contacto litológico de la formación Cajamarca con el Volcánico Huambos, Vista al suroeste (SW).	62
Foto Nro. 15: Izquierda: Fuente natural de agua subterránea; Derecha: Fuente artificial de manantial (captación).....	74

LISTA DE PLANOS

	Pág.
Plano Nro. 1: Ubicación y Acceso	84
Plano Nro. 2: Modelo Digital de Elevaciones [MDE] - Topográfico.....	85
Plano Nro. 3: Imagen Satelital y La Microcuenca hidrográfica	86
Plano Nro. 4: Geológico	87
Plano Nro. 5: Geológico - Estructural	88
Plano Nro. 6: Modelo Digital de Elevaciones [MDE] - Altitudinal.....	89
Plano Nro. 7: Modelo Digital de Elevaciones [MDE] - Pendientes.....	90
Plano Nro. 8: Unidades Geomorfológicas - Relieve	91
Plano Nro. 9: Hidrogeológico.....	92
Plano Nro. 10: Perfil Geológico A-A'.....	93
Plano Nro. 11: Perfil Geológico B-B'.....	94
Plano Nro. 12: Perfil Geológico C-C'	95
Plano Nro. 13: Perfil Geológico D-D'	96
Plano Nro. 14: Perfil Geológico E-E'.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS

K:	Permeabilidad en metros por día (m/día).
Me:	Coefficiente de Almacenamiento o Porosidad Eficaz.
Q:	Aforo de Manantiales método volumétrico en litros por segundo (l/s).
P:	Precipitación Pluvial en litros por metro cuadrado (l/m ²)
I:	Infiltración potencial en milímetros (mm)

RESUMEN

La presente tesis se desarrolló al noreste (NE) del valle de Cajamarca, a 79 Km de la ciudad de Cajamarca, georreferenciando el río agua colorada en Fraylecocha y Alpacoha, el cual pertenece al sistema hidrográfico del Océano Atlántico.

La microcuenca hidrográfica tiene una orientación SW-NE, con un área aproximada de 2 112 Ha (21.12 Km²). El trabajo de investigación consistió en caracterizar las rocas carbonatadas y caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas que afloran a escala 1/25 000 realizando el análisis e interpretación de datos, determinación de pH y el caudal de los afluentes de la microcuenca. Se realizó secciones geológicas e hidrogeológicas a escala horizontal 1/25 000 y la vertical 1/50 000, con la finalidad de realizar la interpretación geológica e hidrogeológica. Los resultados muestran unidades hidrogeológicas como acuíferos fisurados y kársticos.

Palabras Claves: litología, parámetros hidrogeológicos, parámetros geomorfológicos, hidrogeología.

ABSTRACT

The present thesis was developed, northeast (NE) of the Cajamarca valley, 79 km from the city of Cajamarca, georeferencing the Agua Colorada River in Fraylecocha and Alpacoha, which belongs to the hydrographic system of the Atlantic Ocean.

The hydrographic micro-basin has a SW-NE orientation, with an approximate area of 2 112 Ha (21.12 km²). The research work consisted of characterizing the carbonate rocks and hydrogeological characterization of the geological formations that outcrop at a scale of 1/25 000, carrying out the analysis and interpretation of data, determination of pH and the flow of the tributaries of the micro-basin. Geological and hydrogeological sections were made at a horizontal scale of 1/25 000 and the vertical scale 1/50 000, to perform the geological and hydrogeological interpretation. The results show hydrogeological units such as fissured and karst aquifers.

Keywords: lithology, hydrogeological parameters, geomorphological parameters, hydrogeology.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las rocas carbonatadas es el objeto de investigación hidrogeológica, por la abundancia de recursos hídricos que almacena en sus diferentes manifestaciones como Karst entre otros; por lo que se presenta la tesis profesional titulada “Caracterización Hidrogeológica de Rocas Carbonatadas en Fraylecocha, Celendín”, en donde se busca definir acuíferos potencialmente apreciables para lo cual se aplicaría los parámetros hidrogeológicos y geomorfológicos que nos ayudaría a obtener una caracterización hidrogeológica de la zona de estudio. La microcuenca hidrológica “Fraylecocha y Uñigan” constituye la base principal para el presente estudio de investigación, motivado por la falta de información de hidrogeología y geología local. En el área de interés se han registrado evidencias de actividades antrópicas principalmente en agricultura y ganadería, teniendo como principal uso al agua agrícola, presentando pérdidas de agua superficial de dos microcuencas hidrológicas Uñigan y Fraylecocha por medio de Karst. Realizando investigaciones hidrogeológicas en la microcuenca. A través de la aplicación de los conocimientos de geomorfología, hidrología, geología, secciones estratigráficas, inventario de manantiales, análisis de los parámetros hidrogeológicos, ensayos de campo, cartografiado Geológico – Hidrogeológico, procesamiento de datos. Para lo cual nos planteamos el siguiente problema, ¿Qué parámetros hidrogeológicos y geomorfológicos se tendrá en cuenta para analizar y determinar el comportamiento hidrogeológico de rocas carbonatadas en Fraylecocha? Considerando la hipótesis, existen acuíferos importantes en la microcuenca hidrográfica del río agua colorada, que sirvan de fuentes de agua con fines de abastecimiento de multiuso, lo que permitirá cubrir el déficit de recurso hídrico superficial. El presente trabajo de investigación busca contribuir con el mejor entendimiento e interpretación del comportamiento hidrogeológico en rocas carbonatadas, razón por la cual se diseña el estudio hidrogeológico a escala 1: 25 000 a escala local.

El presente estudio hidrogeológico servirá como línea de base para futuros trabajos de investigación tales como: El uso de trazadores en aguas subterráneas, Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), Parámetros Fisicoquímicos del agua en los manantiales, Instalación de piezómetros, investigaciones geotécnicas para inyecciones de lechada de cemento en sumideros.

El alcance de la presente investigación será descriptivo, correlacional – causal, de tipo transversal, con un enfoque mixto. Cuya duración será de 12 meses, entre enero hasta diciembre del 2023, abarcando dos microcuencas hidrográficas de Uñigan y Fraylecocha. La zona de estudio está ubicada entre las coordenadas UTM WGS84 este: 808 000 – 814 000 y norte: 9 228 000 – 9 236 000 y corresponde al cuadrángulo de Celendín 14-g, con un área total aproximada de 2 112 ha (21.12 Km²), la cual corresponde al departamento de Cajamarca, provincia de Celendín y distritos de Sucre, José Gálvez, Jorge Chávez, Oxamarca y Huasmín. Con los resultados del proyecto de investigación, caracterización del comportamiento hidrogeológico en rocas carbonatadas en Fraylecocha, se cualificará los acuíferos y servirá como base para futuros proyectos.

La investigación tiene como objetivo general, Caracterizar el comportamiento hidrogeológico de rocas carbonatadas en Fraylecocha, Celendín – Cajamarca.

Tiene como objetivos específicos: Determinar las unidades geomorfológicas, la hidrología y su geología regional – local, realizar un inventario de manantiales y sus formas de surgencia a través de las diferentes rocas volcánicas y carbonatadas, realizar Plano Geológico y Secciones Estratigráficas, determinar la zona de recarga y descarga de los manantiales, elaborar el plano hidrogeológico (E: 1 / 25 000) de la zona de estudio en ArcGis 10.

Los capítulos de la investigación se ordenan de la siguiente manera: en el segundo capítulo se presenta todo lo concerniente al marco teórico, donde abarca los antecedentes de las investigaciones afines al tema realizadas a nivel local, donde abarca los antecedentes de otras investigaciones. En el tercer capítulo, materiales y métodos de trabajo para la investigación, siguiendo el cronograma de trabajo en gabinete y campo, para la recopilación de los datos necesarios para la investigación, en el cuarto capítulo se expone el análisis y discusión de los resultados obtenidos en la investigación, y por último en el capítulo cinco se encuentran las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Sánchez (2012), “Estudio hidrogeológico de la cuenca Hidrográfica del Río Ica”. Tesis Profesional para optar título profesional de Ingeniero Geólogo. Cajamarca – Perú, 166 p. Conclusión: El inventario de fuentes de agua, muestra la escasez de manantiales en la cuenca media y baja, y unos cuantos afloramientos de manantiales en la cuenca alta (15 manantiales), esta condición ha servido para delimitar los sistemas de acuíferos de la cuenca alta. La descarga de los manantiales encontrados no supera los 5 l/s. Por otro lado, el sistema de acuíferos Ica-Villacurí actualmente tiene 2 129 pozos inventariados, por lo cual es la zona de más intensa explotación de aguas subterráneas en el Perú.

López (2014), “Estudio hidrogeológico de la Microcuenca San Cirilo”. Tesis Profesional para optar título profesional de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de Cajamarca [UNC], Cajamarca – Perú, como objetivo principal realizar el estudio hidrogeológico de la Microcuenca San Cirilo de Cajamarca. Teniendo como resumen general del área de estudio que se ubica en la zona norte de la cordillera de los andes del Perú, al norte de la ciudad de Cajamarca, a 55 Km abarcando las comunidades de Yanacanchilla Alta, Cerro Azul, San Cirilo, Negritos; con altura máxima de 4 168 msnm; políticamente pertenece al distrito de la Encañada, provincia y departamento de Cajamarca; esta microcuenca tiene una orientación suroeste – noreste [SW-NE], con una área aproximada de 17 hectáreas, se logró caracterizar la geología e hidrogeología a escala 1:15 000, determinación de parámetros fisicoquímicos de los afluentes de la microcuenca, se describió y cartografió las formaciones geológicas, litología, plegamientos, fallas, fracturas que hizo posible lograr la caracterización hidrogeológica. Se ejecutó, interpretó secciones geológicas e hidrogeológicas a escala 1/15 000, (p. 4). Teniendo como conclusiones: De acuerdo con el cartografiado geológico e hidrogeológicas se identificaron 3 tipos de acuíferos, porosos no consolidados en el cuaternario aluvial, acuíferos en roca fracturada en la formación farrát y acuitardos en el resto de las formaciones geológicas (p. 98).

Mendoza (2013), “Estudio Geológico e hidrogeológico y aplicación del SEV para la determinación de acuíferos en el centro poblado la ramada – Subcuenca Porcón”. Tesis Profesional para optar título profesional de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de Cajamarca [UNC], Cajamarca – Perú, como objetivo principal analizar la secuencia litológico estructural y su relación con el nivel freático considerando el funcionamiento hidrogeológico del acuífero, teniendo como método de análisis los sondeos eléctricos verticales, p. 16. Teniendo como resumen general, el Centro Poblado La Ramada se encuentra al norte del Perú enclavado en la subcuenca Porcón, a 20 km aproximadamente de la ciudad de Cajamarca. De clima templado a frío, propiciado por la situación geográfica, junto con el desarrollo de la agricultura y ganadería, han hecho preciso un conocimiento exhaustivo de los recursos hídricos subterráneos. Así pues, el objetivo principal de esta tesis es caracterizar el sistema acuífero de la zona desde un enfoque general; considerando lo fundamental: El funcionamiento hidrogeológico teniendo como método de análisis los sondeos eléctricos verticales. Los resultados de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) ponen de manifiesto que el sistema está compuesto por dos unidades hidrogeológicas muy diferentes: los sedimentos (aluviales y fluviales) y una secuencia volcánica del paleógeno-neógeno. En forma generalizada, en la zona estudiada se presenta una secuencia de capas con resistividades menores a mayor profundidad. Esta secuencia es la siguiente: Capa superficial constituida principalmente por sedimentos (aluviales, conglomerados, y fluviales), con resistividades que varían de 17 a 2041 Ohms-m horizonte rocoso con fracturamiento y alteración leve, con resistividades relativamente altas que varían de 107 a 141 Ohms-m horizonte rocoso altamente fracturado con alteración media, con resistividades medias que varían de 61 a 87 Ohms-m horizonte rocoso con alteración intensa o posible contacto con otra unidad de potencial hidrogeológico, con resistividades bajas que varían de 19 a 49 Ohms-m. En forma generalizada según el estudio geológico, hidrogeológico y la interpretación en las curvas de resistividades, el flujo hidráulico circula básicamente de Norte a Sur. Teniendo como conclusiones: Según las curvas de resistividad, podríamos asumir una discontinuidad angular entre las formaciones del volcánico Huambos y el volcánico San Pablo, en el rango de 150 m a 170 m de profundidad en los sondeos eléctricos, p. 75.

Wilson (1984), Geología del Cuadrángulo **Celendín**, hoja 14-g. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n°38, Lima – Perú.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. GEOLOGÍA

La Geología aporta a la Hidrogeología todos los condicionantes relativos al medio de circulación del agua subterránea, ya que las posibilidades de almacenamiento y desplazamiento dependen de las características de ese ámbito geológico.

El estudio de la roca almacén, en la investigación de aguas subterráneas, se orienta hacia dos aspectos fundamentales:

La litología de la formación acuífera, en sentido amplio, desde el punto de vista de sus características, debido a la textura; porosidad; porcentaje, tamaño, y continuidad de poros; permeabilidad; solubilidad a los cambios laterales y verticales de facies; etc. **La litología controla:** el quimismo del agua, la existencia o inexistencia de acuíferos, la capacidad de almacenamiento y circulación del agua, la permeabilidad horizontal y vertical, etc.

La estructura, que define las dimensiones y geometría, tanto a escala regional como local, en función de las acciones diagenéticas (de consolidación) y de los esfuerzos tectónicos a los que se han visto sometidas los materiales. La estructura controla: la continuidad o discontinuidad de la roca almacén, la circulación del agua, los límites de los acuíferos y los tipos de barreras, etc.

Por tanto, para un correcto estudio hidrogeológico, se requiere del apoyo de las técnicas estratigráficas, petrológicas y estructurales, también el refuerzo de los métodos fotogeológicos, geofísicos y de sondeos mecánicos.

2.2.2. FISIOGRAFÍA E HIDROLOGÍA

Conceptos y fundamentos matemáticos que han servido para la cuantificación de los recursos hídricos superficiales en el sistema hidrológico de la cuenca.

Ciclo Hidrológico. - El ciclo hidrológico es el término que se usa para describir la circulación general del agua desde el océano hacia la atmósfera, hacia el subsuelo y nuevamente hacia el océano (Nanía, 2003).

Balance Hidrológico. - El concepto de balance hidrológico está siempre relacionado con el ciclo hidrológico, en donde se tiene en cuenta la distribución y el movimiento del agua, bajo y sobre la superficie del terreno. Este proceso se realiza con la finalidad de establecer los déficits o excesos de agua natural en un sistema hidrológico. El balance constituye un proceso global que gobierna el ciclo hidrológico y que en su concepción más simple está representado por la siguiente ecuación (Baquero, 2007):

Fórmula Nro. 1

Balance hidrológico

$$I - E = \pm \Delta W \dots\dots\dots [\text{Ec. 2.1}]$$

Dónde: I= Ingreso (Alimentación o recarga en todas sus formas), E = Egreso (Descarga en todas sus formas), $\pm \Delta W$ = Variación de reservas.

Del agua que cae sobre la cuenca (precipitación=P), una parte vuelve a la atmósfera bien por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (evapotranspiración = ETR). Otra parte escurre por la superficie (escurrimiento superficial = ES) confluyendo en las quebradas y ríos hasta alcanzar el curso principal y finalmente el mar. El resto se introduce en el terreno y se incorpora al sistema acuífero (infiltración = I).

Estas magnitudes deben cumplir la siguiente ecuación, que se conoce con el nombre de balance hidrológico (Baquero, 2007):

Fórmula Nro. 2:

Balance hidrológico (Baquero, 2007)

$$P - ETR - ES - I = \pm \Delta W \dots\dots\dots [\text{Ec. 2.2}]$$

Dónde: P = Precipitación media anual. ETR = Evapotranspiración Real media anual. ES = Escurrimiento superficial media anual. I = Infiltración media anual. $\pm \Delta W$ = Variación del almacenamiento hídrico o variación de reservas (a largo plazo ≥ 10 años, su valor es poco importante, es igual a cero).

Precipitación Pluvial (P). - La precipitación es el principal vector de entrada del ciclo hidrológico y se refiere a la cantidad total de agua que cae sobre la cuenca. Se expresa en l/m² o, lo que es igual, en mm de altura (Baquero, 2007). Esta variable se obtiene en base a la información registrada por las estaciones pluviométricas existentes en la cuenca.

Evaporación y Evapotranspiración. - Entendemos como evaporación al fenómeno físico de transformación del agua líquida en vapor de agua. Se entiende

como transpiración al proceso, físico-biológico, por el que el agua pasa del estado líquido al gaseoso, a través del metabolismo de las plantas (Baquero, 2007). Al ser prácticamente imposible separar la evaporación de la transpiración, se reúnen ambos conceptos en el de evapotranspiración (Baquero, 2007).

Evapotranspiración Potencial (ETP). - Es el volumen de agua que pasaría a la atmósfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación directa y de la transpiración de las plantas, si las reservas de agua fuesen suficientes para compensar las máximas pérdidas (Baquero, 2007). Para calcular la ETP en esta tesis, se utilizó el método de Thornthwaite (1948).

Fórmula Nro. 3:

Evapotranspiración potencial (ETP)

$$ETP = 1.6 \left[\frac{10 t}{I} \right]^a \dots\dots\dots [Ec. 2.3]$$

Dónde: ETP = Evapotranspiración potencial mensual, para un mes ficticio de 30 días y una insolación teórica durante 12 horas/día, t = Temperatura media mensual (°C), I = Índice térmico anual, y a = constante a determinar que depende de cada lugar.

Evapotranspiración Real (ETR). - Es la tasa de pérdidas limitada a la cantidad de humedad que realmente existe en el suelo, en un instante dado bajo las condiciones climáticas existentes (Ortiz, 1994). Debido al alcance del estudio, en la presente tesis no se realizaron los trabajos experimentales para calcular la ETR, por lo cual, se estimó esta variable como un porcentaje de la ETP con respecto a las áreas cultivadas.

Escurrimiento Superficial (ES). - En general, se llama escurrimiento a la parte de la precipitación que, fluyendo sobre o bajo la superficie del suelo, llega hasta la red de drenaje natural y sale de la cuenca a través del curso emisor (Ortiz, 1994). Esta variable se obtiene en base a la información registrada por las estaciones hidrométricas existentes en la cuenca.

2.2.3. HIDROGEOLOGÍA

Conceptos y fundamentos matemáticos que han servido para la caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas que afloran en la cuenca:

Acuífero. - (del latín: aqua = agua; fero = llevar), es toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua, a las surgencias o a las captaciones. Es decir, aquella que permite el movimiento del agua por gravedad (agua gravífica), en

condiciones que pueda ser económicamente explotable (por ejemplo: arenas y gravas o calizas karstificadas), (Baquero, 2007).

Acuitardo. - (del latín: aqua = agua; tardare = retardar), es toda formación geológica capaz de almacenar cantidades apreciables de agua, pero que la transmite muy lentamente, por lo que no es interesante para el emplazamiento de captaciones, si bien permite la recarga, vertical o lateral, a acuíferos que estén en contacto con ella (por ejemplo: arcillas limosas y limos), (Baquero, 2007).

En función de estos límites las formaciones acuíferas se clasifican en:

Acuífero libre, es aquel cuya superficie de agua se encuentra a presión atmosférica, es decir en contacto directo con la atmósfera, a través de los poros de un terreno permeable, (Baquero, 2007).

Acuífero confinado, cautivo o a presión, es aquel cuya agua está retenida por un techo acuícludo o acuífugo. El agua, en cualquier punto de la superficie del acuífero, está a mayor presión que la atmosférica. Cuando la presión del agua alcanza cota más alta que el terreno, se denomina acuífero artesiano, (Baquero, 2007).

Acuífero semiconfinado, es aquel que puede recibir recarga, o tener descarga, a través de acuitardos de techo y/o muro. El funcionamiento de este "goteo", en uno u otro sentido, se producirá en función de la diferencia de presiones hidrostáticas con los acuíferos periféricos, así como de la permeabilidad vertical del acuitardo intercalado. Un caso frecuente, en cuencas sedimentarias detríticas, es el de acuíferos multicapa formados por una serie de acuíferos intercalados entre acuitardos o acuícludos, (Baquero, 2007).

Acuífero colgado, es el aislado por la estructura y/o la litología, y cuya superficie piezométrica se encuentra sobre el nivel general de las aguas subterráneas. Acuífero en cascada, es un caso particular del acuífero colgado, típico de áreas plegadas o de tectónica de bloques, donde los acuíferos se intercomunican a través de "aliviaderos subterráneos", (Baquero, 2007).

El paso de unos acuíferos a otros es frecuente en la naturaleza, y los propios límites pueden ser a veces difíciles de establecer.

El movimiento del agua a través de las rocas puede darse por dos factores: por medio de los intersticios que se presentan en medios porosos (permeabilidad propia o primaria), común en rocas detríticas. En medios fracturados, el movimiento del agua es controlado por fallas, fracturas, diaclasas y excepcionalmente por

alteración superficial (permeabilidad adquirida o secundaria), propia de rocas ígneas y sedimentarias afectadas por el tectonismo de la zona (Bidner, 2001).

Ecuación General de Flujo de Agua Subterránea. - Expresión cuantitativa que permite relacionar y cuantificar los flujos de agua subterránea con la piezometría y las características del terreno.

El movimiento del agua subterránea a través de un sistema saturado responde a las leyes de la hidráulica subterránea, expresadas algebraicamente como una serie de ecuaciones diferenciales, función del tiempo y de los parámetros hidrodinámicos del material atravesado.

Esta ecuación se deriva de un simple balance de masa junto con la aplicación de la ley de Darcy para definir el movimiento del flujo subterráneo a través de los poros del terreno saturado, orientado según los ejes de coordenadas principales.

Entradas – Salidas = Variación de Almacenamiento.

Fórmula Nro. 4:

Ecuación general de flujo de agua subterránea.

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(Kx \frac{\delta h}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(Ky \frac{\delta h}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(Kz \frac{\delta h}{\delta z} \right) = Ss \frac{\delta h}{\delta t} \dots\dots\dots [\text{Ec. 2.4}]$$

Dónde: Kx, Ky, Kz = Componentes de la conductividad hidráulica según cada eje. h = Nivel piezométrico del acuífero. Ss = Coeficiente de almacenamiento específico. T = Tiempo

Ensayo de Infiltración Puntual. - Es un método basado en la ley de Darcy, sirve para determinar la permeabilidad de las formaciones geológicas en función de su tasa de infiltración. Este ensayo se realiza mediante permeámetros de carga constante y carga variable (Figura 1), y la expresión matemática para el cálculo es la siguiente (Castany, 1975).

Fórmula Nro. 5:

Ensayo de infiltración puntual.

$$K = dQL/(A dt dh) \dots\dots\dots [\text{Ec. 2.5}]$$

Dónde: K = Permeabilidad (m/día). Q = Volumen de agua (m³). L = Longitud del tubo (m). A = Área de muestra en m² (sección del tubo). t = Tiempo (s). h = Carga hidráulica (m)

Densidad de Fracturas. - Es un método que sirve para determinar la permeabilidad de medios fracturados en función de la densidad de fracturas del macizo rocoso. Con los datos de longitud de fracturas medidas en un afloramiento rocoso, se calcula la densidad de fracturas según las siguientes expresiones (Nieto, 2003):

Fórmula Nro. 6:

Longitud total de fracturas (L).

$$(L = \sum Li) \dots \dots \dots [Ec. 2.6]$$

Fórmula Nro. 7:

Intensidad de fracturas (I)

$$(I = \sum Li/A) \dots \dots \dots [Ec. 2.7]$$

Fórmula Nro. 8:

Densidad de fracturas (D).

$$(D = 1/A \sum (Li/2)^2) \dots \dots \dots [Ec. 2.8]$$

Siendo A (m²) el área del afloramiento analizado y Li (m) la longitud de cada fractura que se localiza dentro de dicha área.

La fórmula que evalúa la permeabilidad o conductividad hidráulica (m/día) en función de la densidad de fracturas, es de elaboración propia, desarrollada en la presente investigación y está expresada por la siguiente ecuación:

Fórmula Nro. 9:

Permeabilidad en función de la densidad de fracturas

$$K = 2.240D^4 + 16.52D^3 + 41.42D^2 - 2.739D + 0.010 \dots \dots \dots [Ec. 2.9]$$

Fractal Autosimilar. - Un fractal autosimilar es un objeto que se mantiene invariante en distintas escalas y/o en distintos puntos del espacio (Feder, 1988).

Clasificación de acuíferos según el tipo de porosidad:

Acuíferos kársticos. – También llamada unidad acuífera química o por disolución. Algunas rocas son disueltas por el agua y forman una estructura geológica típica llamada karst, también en dolomías, en los yesos y las sales pueden formarse. Se desarrollan fundamentalmente sobre roca carbonatada, aunque puede albergarlo una formación evaporítica. (González de Vallejo, 2002, p. 265)

Acuífero poroso. – Se denomina acuífero poroso, cuya permeabilidad es debida a su porosidad intergranular; como gravas, arenas, en los cuales el agua ocupa poros existentes entre los granos de arena. Se da principalmente en terrenos sedimentarios. (González de Vallejo, 2002, p. 264)

Acuíferos fisurados. - Son aquellos en los que el agua circula a través de fisuras y las grietas que hay entre las rocas. Existe capas o estratos que desarrollan porosidad secundaria, es decir, por la presencia de fracturas o grietas debido a fallas o diaclasas. (González de Vallejo, 2002, p. 265)

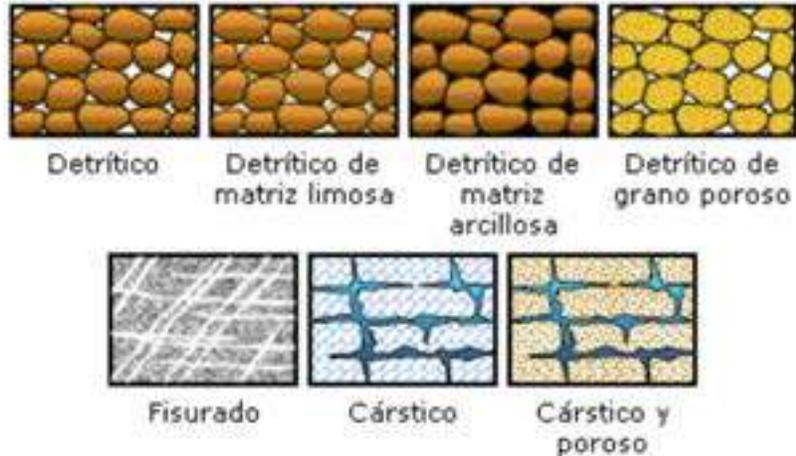


Figura Nro. 1: Tipos de acuíferos según su textura, según Gonzáles de Vallejo, (2002)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Parámetros Geomorfológicos. - Se refiere a las características físicas de la cuenca que dependen de la morfología y permanecen constantes en el tiempo (forma, relieve, red de drenaje, etc.). Estas características influyen de manera decisiva en la respuesta hidrológica de la cuenca (Nanía, 2003).

Manantial. - Es aquel punto o área de surgencia natural de agua, procedente de un acuífero, que actúa como aliviadero natural al embalse subterráneo (Baquero, 2007).

Aforo de Manantiales. - Es la medida del caudal que descarga un manantial en un momento determinado. Para calcular el caudal de descarga de los manantiales inventariados en el presente estudio, se usó el método de la cubeta/cronómetro (APDF, 2002), cuya expresión matemática es la siguiente:

Fórmula Nro. 10:

Aforo de manantiales.

$$Q = V/t \dots\dots\dots [Ec. 2.10]$$

Dónde: Q= Caudal (l/s). V= Volumen de la cubeta (l). T= Tiempo que tarda en llenarse la cubeta (s).

Permeabilidad (K). - Matemáticamente la permeabilidad o conductividad hidráulica (Darcy, 1856) se define como el caudal de agua que pasa a través de una superficie unitaria de acuífero bajo un gradiente hidráulico unidad (Pulido, 1978).

Fórmula Nro. 11:

Permeabilidad (K)

$$K = Q/(I.A)..... [Ec. 2.11]$$

Dónde: K = Permeabilidad (m/día). Q = Caudal (m³/día). A = Área (m²). I = Gradiente hidráulico (adimensional).

Coefficiente de Almacenamiento o Porosidad Eficaz (Me). - Matemáticamente la porosidad eficaz (Me) de una roca es el volumen de poros interconectados o volumen de agua gravífica (Ve), con relación al volumen de roca (V), expresado en porcentaje (Castany, 1975).

Fórmula Nro. 12:

Coefficiente de almacenamiento.

$$Me = Ve/V \times 100..... [Ec. 2.12]$$

Infiltración. - La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y subsuelo (Guevara & Cartaya, 2002).

En hidrogeología, la infiltración es el factor más importante del ciclo del agua y también el más difícil de evaluar puesto que escapa a las mediciones directas por procedimientos sencillos (Castany, 1975). Sin embargo, la infiltración potencial de la cuenca se puede calcular a partir de la ecuación general de Balance Hidrológico, asumiendo que a largo plazo la variación de reservas es cero, $\Delta W=0$:

Fórmula Nro. 13:

Infiltración.

$$I = P - ETR - ES..... [Ec. 2.13]$$

Dónde: I = Infiltración potencial en mm. P = Precipitación media en mm. ETR = Evapotranspiración Real en mm. ES = Escurrimiento superficial en mm.

2.4. TEORÍAS RELATIVAS AL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Cuenca Hidrográfica. - Es el área de terreno donde las aguas de escorrentía superficial se distribuyen en una red natural de drenaje, confluyendo luego hacia un colector común o curso principal. El límite o frontera de la cuenca hidrográfica se conoce como divisoria de aguas (Divortio Aquarum) y el punto más bajo o de total confluencia es el punto emisor (Ortiz, 1994).

También se define como un ecosistema en el cual interactúan y se interrelacionan variables biofísicas y socioeconómicas que funcionan como un todo (Sánchez y Artieda, 2004).

La cuenca hidrográfica actúa como un colector natural, encargada de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento. En esta transformación de lluvias en escurrimiento se producen pérdidas, o mejor desplazamiento de agua fuera de la cuenca debido a la evaporación y la percolación. Para este tipo de estudio no solamente interesa el volumen total a la salida de la cuenca, sino también su distribución espacial y temporal, para lo cual se necesita tener un buen conocimiento de sus características. El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas (Maidment, 1992)

Componentes de una cuenca hidrográfica: Son: a) Biológicos son los bosques, los cultivos y en general los vegetales conforman la flora, constituyendo junto con la fauna el componente biológico; b) Físicos son el agua, el suelo, el subsuelo, y el aire constituyen el componente físico de la cuenca; c) Socioeconómicos son las comunidades que habitan en la cuenca, las que aprovechan y transforman los recursos naturales para su beneficio, construyen obras de infraestructura, de servicio y de producción, los cuales elevan nivel de vida de estos habitantes. (Sánchez y Artieda, 2004)

Una microcuenca. -Es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; o sea que una subcuenca está dividida en varias microcuencas. Las microcuencas son unidades pequeñas y a su vez son áreas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas. También las microcuencas constituyen las unidades adecuadas para la planificación de acciones para su manejo.

En la práctica, las microcuencas se inician en la naciente de los pequeños cursos de agua, uniéndose a las otras corrientes hasta constituirse en la cuenca hidrográfica de un río de gran tamaño. (Faustino, 2006)

Una subcuenca. -Es toda área en la que su drenaje va directamente al río principal de la cuenca. También se puede definir como una subdivisión de la cuenca. Es decir que en una cuenca puede haber varias subcuencas. (Faustino, 2006)

Componentes y variables de la caracterización de una cuenca. - Se pueden agruparse en tres grandes temas: a) ubicación, morfometría e hidrología; b) caracterización biofísica y c) caracterización socioeconómica. Los elementos que se especifican para cada caracterización parten de una situación ideal, pero en la práctica no siempre eso es posible, aunque siempre se debe hacer el mejor

esfuerzo de obtener la mayor y mejor información. Es recomendable iniciar con la información más relevante (análisis de contexto biofísico, socioeconómico y ambiental), y de ser necesaria información más específica luego de priorizados los problemas de la cuenca, se puede determinar la información requerida. La caracterización debe ser interpretativa, en el sentido de identificar las relaciones que puede darse entre las distintas variables.

Los mapas de caracterización para fines de planificación y manejo de microcuencas deberían ser preferiblemente en la escala, menores de 1:25.000, idealmente 1:5.000 (Jiménez, 2010)

Ubicación: País, departamento, estado o provincia, latitud, longitud, área. Incluir un mapa base de la cuenca. (Jiménez, 2010)

Características morfométricas e hidrológicas de la cuenca: Forma, curva hipsométrica (elevaciones), longitud y pendiente del cauce principal, orden y longitud de la red de drenaje, densidad de cauces (número de cauces o drenajes/área de la cuenca), densidad de drenaje (longitud de drenajes/km² de área), caudales (promedio, máximos, mínimos). Incluir el mapa de la red de drenaje y división de microcuencas. (Jiménez, 2010)

Los mapas temáticos base: Es el Plano de Geomorfología, Pendientes, Uso Actual de la Tierra, y Altitudinal. (Sheng, 1972)

Área de una cuenca: Es el tamaño de la superficie de cada cuenca en km². Se obtiene automáticamente a partir de la digitalización y poligonización de las cuencas en el software de sistema de información geográfica. El área de una cuenca en general se encuentra relacionada con los procesos que en ella ocurren. También se ha comprobado que la relación del área con la longitud de esta es proporcional y también que esta inversamente relacionada a aspectos como la densidad de drenaje y el relieve relativo. Una cuenca se puede clasificar atendiendo a su tamaño, en cuenca grande y cuenca pequeña. (Villon, 2002)

Cuenca grande: Es aquella cuenca en la que predominan las características fisiográficas de la cuenca (pendiente, elevación, área, cauce). Una cuenca, para fines prácticos, se considera grande, cuando el área es mayor de 250 km². (Villon, 2002)

Cuenca pequeña: Es aquella cuenca que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración, y en la cual las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más importantes que las del cauce. Se considera cuenca pequeña

aquella cuya área varía desde unas pocas hectáreas hasta un límite, que, para propósitos prácticos, se considera pequeña, cuando el área es menor de 250 km². (Villon, 2002)

Longitud, perímetro y ancho de la cuenca: La longitud, L, de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea divisoria de la cuenca es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la letra mayúscula P. El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y se designa por la letra W. (Villon, 2002).

Fórmula Nro. 14:

Ancho promedio de la cuenca (w).

$$W = \frac{A}{L} \dots \dots \dots [\text{Ec. 2.14}]$$

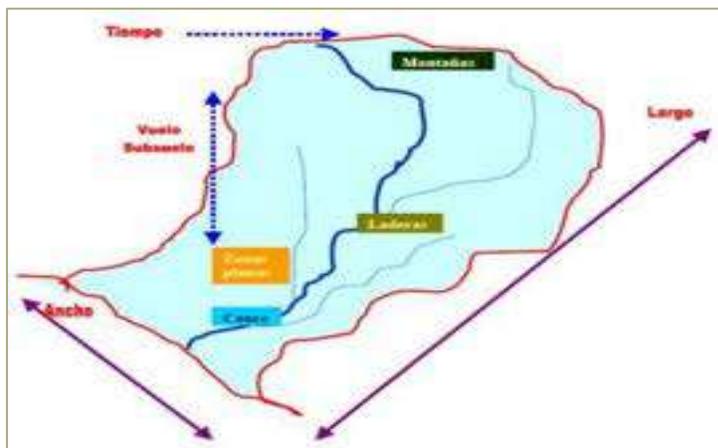


Figura Nro. 2: Dimensiones de una cuenca hidrográfica, Villon (2002)

Parámetro de forma, Factor de forma (F). - Expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca (w) y la longitud (L).

Tabla Nro. 1: Forma de la cuenca en función al factor de forma

Factor de forma	Forma de la cuenca
F > 1	Redondeada
F < 1	Alargada

Fuente: Villon, (2002)

Parámetro de forma, Coeficiente de compacidad (K_c). -Designado por K_c e igualmente propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. K_c se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia (Monsalve, 2000). La ecuación de este coeficiente corresponde a:

Fórmula Nro. 15:

Coeficiente de compacidad (adimensional).

$$K_c = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots [Ec. 2.15]$$

Dónde: K_c = Coeficiente de compacidad (adimensional). P = Perímetro de la cuenca (Km). A = Área de la cuenca (Km²).

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de K_c nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuerte volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuando más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea K_c mayor será la concentración de agua. Existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro.

Tabla Nro. 2: Índice de Gravelius para la evaluación de la forma

Clase	Rango	Descripción
K _{c1}	1 a 1.25	Forma casi redonda a oval - redonda
K _{c2}	1.25 a 1.5	Forma oval - redonda a oval - alargada
K _{c3}	1.5 a 1.75	Forma oval – alargada a alargada

Fuente: Ortiz, (2004)

Parámetros relativos al relieve, Pendiente de la cuenca hidrográfica. - La pendiente de la cuenca, es un parámetro muy importante en el estudio de toda la cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración del suelo, y la contribución del agua subterránea a la esorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en relación con las crecidas. La pendiente de la cuenca es la relación del desnivel que existe entre los extremos de la cuenca,

siendo la cota mayor y la cota menor, y la proyección horizontal de su longitud, siendo el lado más largo de la cuenca (Villon ,2002).

Parámetros relativos al relieve, Pendiente del cauce principal. - El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca, es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento de recurso hídrico; Se determina según la relación entre el desnivel que hay entre los extremos el cauce y la proyección horizontal de su longitud (Villon, 2002)

El mapa de pendientes se ha elaborado con espaciamento de curvas de nivel cada 50 m, las cuales fueron procesadas en el software ArcGis a partir de modelos elevación digital disponible en ASTER GDEM. Se tomaron en consideración seis rangos o grados de pendientes: terrenos llanos (<1°, muy baja), inclinados con pendiente suave (1°-5°, baja), pendiente moderada (5°-15°, media), pendiente fuerte (15°-25°), pendiente muy fuerte (25°-45°) y pendiente muy escarpada (>45°, abrupta).

Tabla Nro. 3: Clasificación de la pendiente en grados sexagesimales. (°)

Rango de pendiente	Superficie topográfica	Descripción
0 °- 1 °	Plano o casi a nivel	Se ubica principalmente en el fondo del valle, en la cima de las montañas y en algunos sectores del deslizamiento antiguo en proceso de reactivación.
1°- 5°	Terreno inclinado con pendiente suave	
5°-15°	Pendiente moderada	
15°-25°	Pendiente fuerte	Se sitúa las pampas y laderas
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpada	Se sitúa en las laderas de los cerros
Mayor a 45°	Pendiente muy escarpada	Superficie muy limitada en el área de estudio

Rango de pendiente	Superficie topográfica	Descripción
--------------------	------------------------	-------------

Fuente: Vílchez, (2013)

Parámetros relativos al drenaje, Densidad de drenaje. - La densidad de drenaje, es un parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en la cuenca. También da una idea sobre el grado de cobertura que existe en la cuenca. Valores altos de drenaje, representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables. Por el contrario, valores bajos, indican suelos duros, poco erosionables o muy permeables y coberturas vegetales densa. (Villon, 2002).

Parámetros relativos al drenaje, Curva hipsométrica. - La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca y se obtiene a partir de un plano topográfico tomándose los valores en porcentajes del área que están por debajo de una determinada altura, que inicialmente serán la del punto más bajo de la cuenca e irá aumentando de acuerdo con los valores de las cotas de la curva de nivel que encierra las franjas de terreno por ellas definidas y el punto de salida que es generalmente el sitio más bajo de la cuenca. (Villon, 2002)

Se divide en tres zonas: 1.-Zona donde predomina la producción de sedimentos y aguas. (Ríos jóvenes); 2.- Zona donde predomina el transporte de ambos. (Ríos maduros); 3.- Zona caracterizada por la deposición de sedimentos. (Ríos en etapa de vejez), (Llamas, 1993)

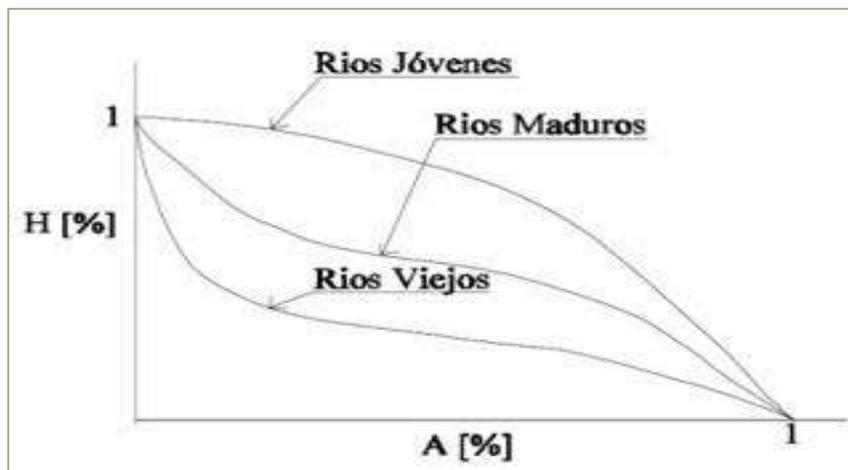


Figura Nro. 3: Clasificación de los ríos de acuerdo con la curva hipsométrica, Llamas (1993).

Lagunas altoandinas. -Las lagunas altoandinas, los altos Andes y de las montañas son ecosistemas de enorme importancia estratégica para millones de personas. Su valor ecológico, económico, social y cultural debe ser tenido en cuenta para el diseño y ejecución de políticas de desarrollo de los países en los que se encuentran. Las lagunas altoandinas son consideradas como ecosistemas de gran fragilidad asociada a causas naturales como el cambio climático, las sequías prolongadas en la puna y a la intervención humana, como en los casos de la agricultura no sostenible, el pastoreo excesivo y la minería a cielo abierto. Muchos humedales de montaña se están perdiendo de manera acelerada, sobre todo, por mal manejo y desconocimiento de su importancia económica y ecológica. Es importante señalar que los servicios que proporcionan las lagunas altoandinas no son ilimitados y que la degradación de estos ecosistemas acarrea la pérdida no sólo de fuentes esenciales de agua, sino de los otros múltiples beneficios que ofrecen dichos ambientes, incluyendo su potencial para la recreación y el ecoturismo. Por ello, si queremos continuar aprovechándolos, debemos conservarlos y su uso no debe rebasar los límites del umbral crítico, más allá del cual su deterioro se hace irreversible (Astralaga et al, 2005).

Respecto a estudios sobre cuerpos de agua, el Perú cuenta con el Inventario Nacional de Lagunas y Represamientos, el cual, estimó que en el país existen 12 201 lagunas; 3 896 en la vertiente del Pacífico, 7 441 en la vertiente del Atlántico, 841 en la vertiente del Titicaca y 23 en una vertiente cerrada. Sin embargo, este estudio sólo cubre el 29,1% del territorio peruano (Ñique et al, 2009).

Ley de recurso hídricos y su reglamento. -La aprobación de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento (Decreto Supremo N° 001-2010-AG) que crea y pone en funcionamiento el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos a cargo de la Autoridad Nacional del Agua - ANA, establece un nuevo modelo de gestión integral de los recursos hídricos en el país.

Sistema Nacional de Información Ambiental y Sistema Nacional de Gestión Ambiental. -La Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental reconoce entre los instrumentos de gestión ambiental al Sistema Nacional de Información Ambiental, el cual no ha sido implementado en su totalidad, existiendo una limitación seria de información actualizada. Las competencias para la generación y sistematización de la información ambiental se encuentran dispersas y el flujo de colección y procesamiento no ha sido desarrollado a plenitud, aun cuando existe

mandato en el Decreto Legislativo Nro. 1055, Decreto Legislativo que modifica la Ley Nro. 28611, Ley General del Ambiente, para las entidades del Estado.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICA

El área de estudio, titulada “Caracterización hidrogeológica de rocas carbonatadas en Fraylecocha, Celendín-Cajamarca, 2022”, está ubicado en la parte noreste (NE) del valle de Cajamarca, a 79 km de la ciudad de Cajamarca, entre la margen derecha del Río Sendamal y la margen izquierda del Río Cantange, ambos ríos afluentes al Río Marañón, el cual pertenece al sistema hidrográfico del Océano Atlántico.

Políticamente la zona de investigación está ubicada dentro de los distritos de José Gálvez, Sucre, Huasmín y Celendín, en la Provincia de Celendín, del departamento de Cajamarca, dentro de la carta geológica de Celendín-14g, con coordenadas UTM. DATUM WGS. 84. (Ver Plano Nro. 1: Ubicación y Acceso)

Tabla Nro. 4: Vértice de la zona de estudio

COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO		
VÉRTICE	ESTE	NORTE
1	808 000	9 235 500
2	814 000	9 235 500
3	814 000	9 228 000
4	808 000	9 228 000
Área Total (Ha)		4 800 ha

3.1.2. LA MICROCUENCA HIDROLÓGICA DEL RÍO AGUA COLORADA

En base a la información proporcionada por Autoridad Nacional del Agua (**ANA**), en su página web; la zona de estudio (21.12 Km²) pertenece a la unidad hidrográfica de Alto Marañón IV, con 10 295 Km².

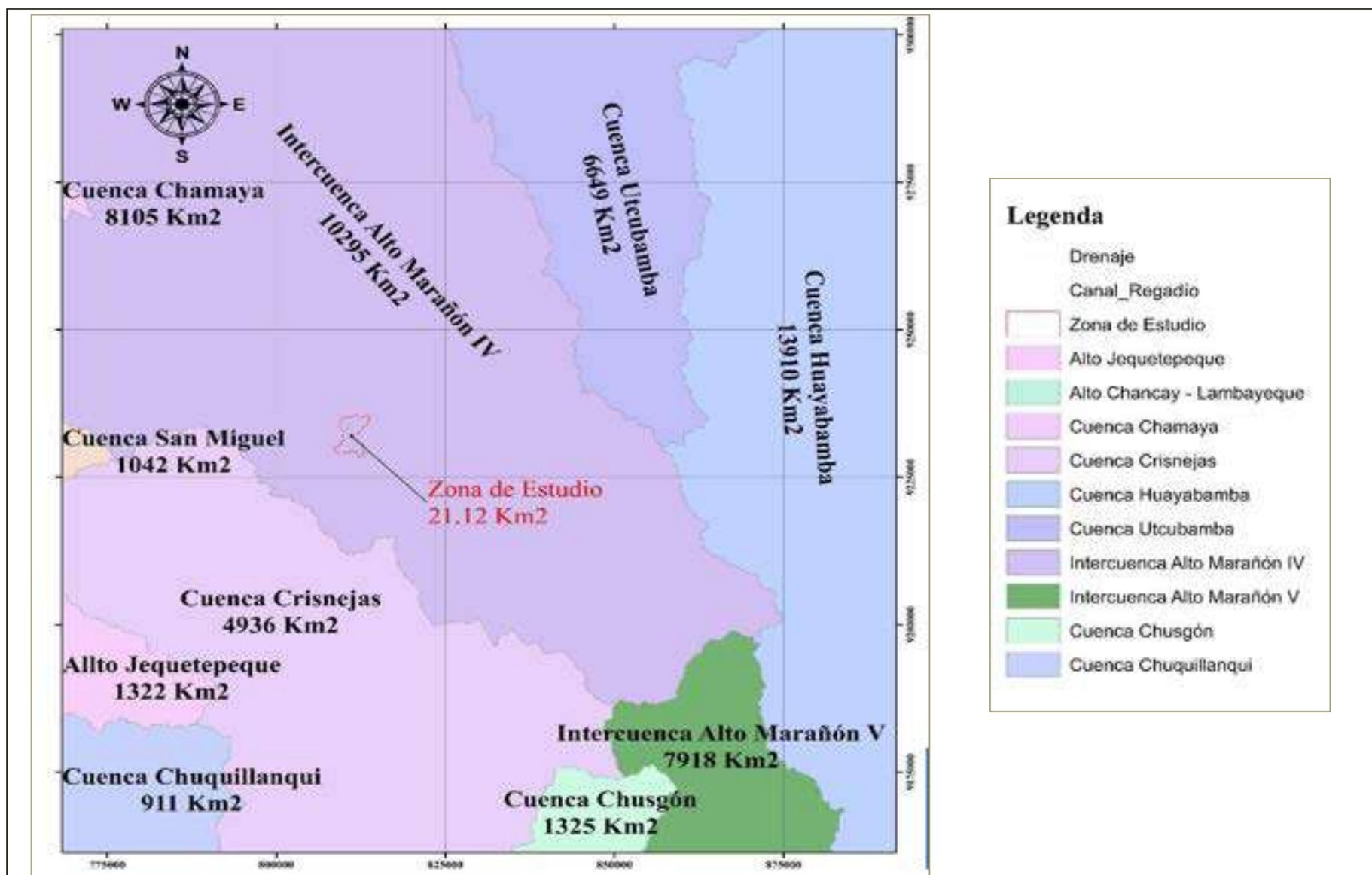


Figura Nro. 4: Ubicación de la microcuenca hidrológica de la zona de estudio, la zona de estudio pertenece a la Inter cuenca alto marañón IV con 21.12 Km².

3.1.3. ACCESIBILIDAD A LA ZONA DE ESTUDIO

Hay dos accesos a la zona de estudio, siendo la principal, partiendo de la ciudad de Cajamarca – La Encañada – Celendín, está carretera esta asfaltada, la segunda opción es Cajamarca – La encañada, vía asfaltada, siguiendo la carreta a Punre, Sorochuco – hasta el cruce de Sorochuco – Celendín, vía afirmada, se encuentran caminos de herradura, que permiten tener acceso a la zona de estudio ya sea desde el distrito de José Gálvez o del Centro Poblado de Sucre (Ver Figura Nro. 5).

El Clasificador de Rutas es el documento oficial del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), clasificadas en Red Vial Nacional, Red Vial Departamental o Regional y Red Vial Vecinal o Rural.

Tabla Nro. 5: Acceso a la zona de estudio.

ACCESIBILIDAD A LA ZONA DE ESTUDIO			
BASE	TRAMO	DISTANCIA	TIEMPO
D.S. N° 011-2016-MTC	Cajamarca-Baños del Inca	2.5 Km	15 min
D.S. N° 011-2016-MTC	Baños de Inca-Encañada	29.5 Km	45 min
D.S. N° 011-2016-MTC	Encañada-Desvío Sucre (Loma del Indio)	47 Km	90 min
Total		79 Km	2.5 Horas

3.2. FISIOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.2.1. UNIDADES GEOGRÁFICAS

La zona de estudio tiene un área aprox. 2 112 ha (21.12 Km²), con un perímetro 25.74 Km, constituye un territorio bastante variado, de altitudes de 2712 m.s.n.m. hasta 3410 m.s.n.m. que pertenecen a la cuenca oriental.

Cordillera Occidental

La cordillera Occidental consiste en un macizo elevado cuya morfología ha sido intensamente modificada por varias etapas de erosión. La parte más alta de la cordillera consiste en una llanura ondulada, ubicada aprox. a 4 000 m.s.n.m., mientras que los flancos han sido profundamente disectados por el encañonamiento de los ríos, ocasionando relieves locales hasta de 2 000 m de desnivel.

Los fenómenos geomorfológicos importantes son: Las superficies de erosión y los efectos de la glaciación cuaternaria.

Cordillera Oriental

Consiste en un macizo con orientación NW-SE, el cual alcanza alturas sobre los 4 000 m.s.n.m., con flancos bastante disectados, conformando la divisoria entre las cuencas de los ríos Marañón al oeste y Utcubamba al este.

La zona de estudio comprende una mínima porción de esta Cordillera, al norte de Cocabamba (Celendín), cuyos fenómenos geomorfológicos más saltantes son la fuerte erosión por parte de los tributarios del río Marañón, y el nivel alto de erosión más o menos plano.

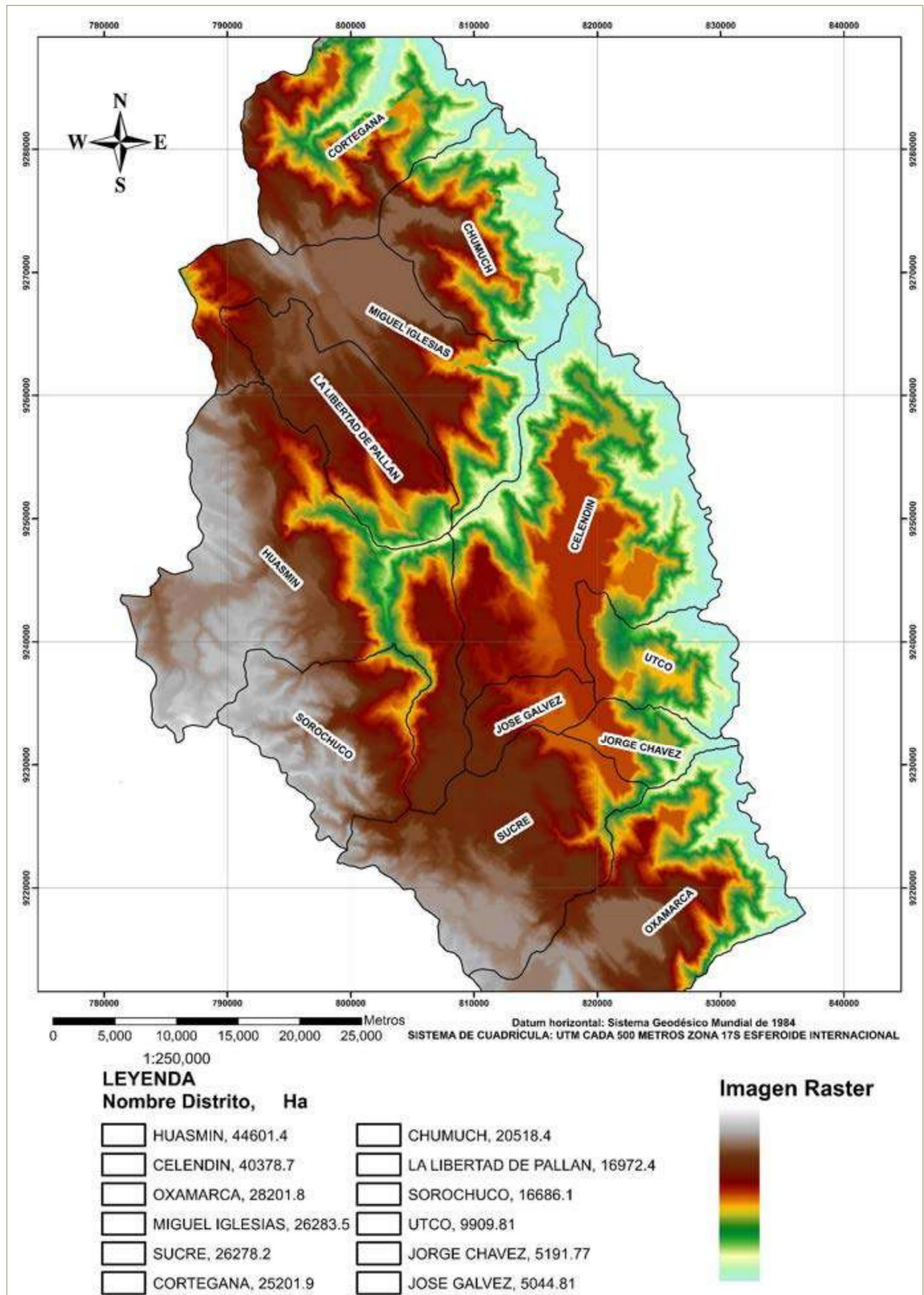


Figura Nro. 5: Imagen ráster de la provincia de Celendín, la altitud máxima 4 212 msnm y mínima 638 msnm, año 2016.

3.2.2. DRENAJE

El drenaje del área en estudio se dirige al Atlántico. Los ríos principales de la vertiente atlántica son Marañón, Sorochuco (Sendamal), Llaucano, Chotano y Huancabamba. En los ríos de la vertiente pacífica, solamente los mayores tienen agua permanente. Los ríos Chotano y Huancabamba, son de sexto orden, tomando a los riachuelos más pequeños y que figuran en los planos a escala 1:100 000 como de segundo orden.

3.2.3. EL RÍO AGUA COLORADA

El río agua colorada nace de la unión de varios afluentes de manantiales, nacientes en la comunidad de Fraylecocha a 3200 msnm, situado en cabecera de cuenca unión de dos (2) afluentes.

Desde su nacimiento, recorre una distancia de 9 Km a través de las sierras de Alpacochoa, Quillimbash, Huañambra, José Gálvez y Sucre; desembocando al río **Cantange** a 15 Km aguas abajo de la ciudad de José Gálvez. El río es de naturaleza intermitente, siendo los meses de enero, febrero y marzo en que el río se recarga por el periodo de lluvias en la cabecera de cuenca (aguas arriba), y desde abril a noviembre el río pierde considerablemente su caudal entre 15 a 20 litros/segundo (Foto Nro. 1).



Foto Nro. 1: Vista panorámica de la nacimiento del río agua colorada, fotografía mirando al suroeste (SW), en julio del 2013.

3.2.4. EL VALLE DE JOSÉ GÁLVEZ Y SUCRE

La planicie del valle va desde los 2 680 hasta los 2 700 msnm. El valle de José Gálvez produce aproximadamente el 10 % de las exportaciones agrarias que realiza la Provincia de Celendín y otros productos de importancia menor.

La fuente principal de abastecimiento público y privado del valle de José Gálvez es agua subterránea. La explotación del agua subterránea se realiza mediante pozos, captaciones. (Foto Nro. 2).



Foto Nro. 2: Vista panorámica del valle de José Gálvez y Sucre, fotografía mirando al noreste (NE), en marzo del 2013.



Foto Nro. 3: Vista Panorámica del centro poblado de Alpacocho, distrito de José Gálvez, mirando suroeste (SW), marzo 2018.

3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

3.3.1. CLIMA

El clima está influenciado directamente por la altitud de la cordillera Occidental, el clima es húmedo y frío, con una precipitación promedio pluvial promedio anual de 15 a 50 mm/hora (Senamhi, los últimos 50 años)

TEMPERATURA

La zona de estudio tiene un clima templado a frío, las temperaturas promedio mínimas 10 °C y máximas 24 °C no varían mucho durante el año.

PRESIÓN

La presión registra valores de 760 milibares en las zonas más bajas y 680 milibares en las zonas más altas.

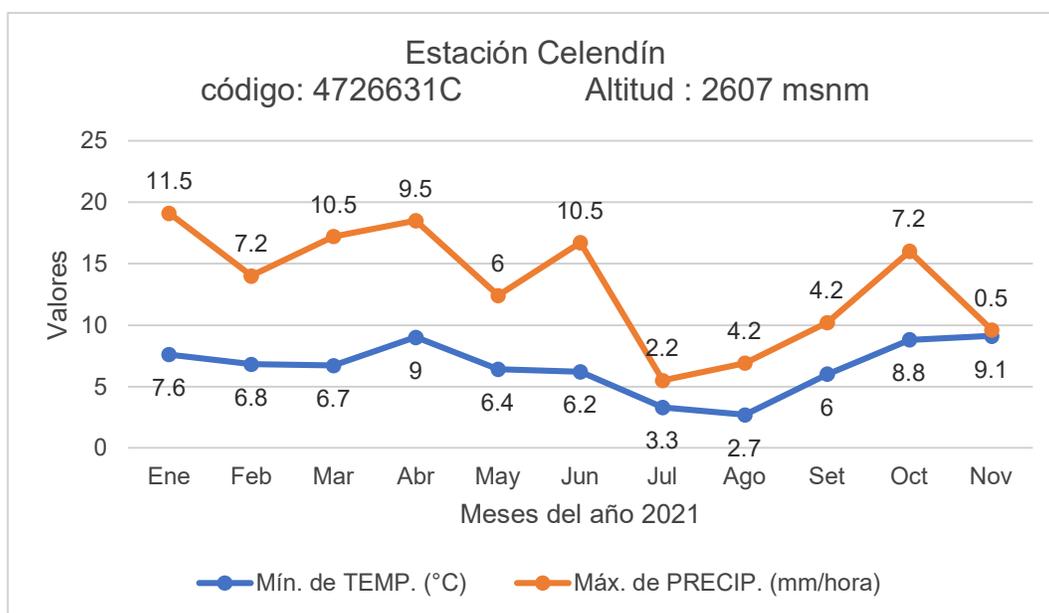


Figura Nro. 6: Datos de Temperatura y Precipitación del Senamhi - año 2021.

3.3.2. VEGETACIÓN

El sector comprendido entre los 2 700 a 3 000 msnm con precipitación promedio anual de 700 mm anuales, presenta una vegetación natural como alisos, nogales, eucaliptos, capulí; entre los principales cultivos tiene al maíz, papa, arveja, lenteja y pastos que son aprovechados por el ganado vacuno y ovino.

El sector comprendido entre los 3 000 a 3 500 msnm con precipitación promedio anual de 750 mm presenta vegetación natural conformada por gramíneas; de regular actividad forestal con eucaliptos y vegetación de especies herbáceas arbustivas y arbóreas; los principales cultivos son: papa, trigo, cebada, maíz, arveja, haba, olluco. Zona muy ganadera.



Foto Nro. 4: Fotografía de la vegetación y su principal actividad la ganadería, marzo 2019.

3.4. DEMOGRAFÍA

3.4.1. RECURSOS AGROPECUARIOS E INDUSTRIALES

En la parte alta de la microcuenca, se desarrolla pastizales, que son el soporte de una economía basada en la producción de ganado vacuno, en Brown Swiss y Holsting (Ver Foto Nro. 4), en la producción de leche, con un canal de regadío que recorre desde Alpacocho, pasando por Quillisbash y Huañambra hasta José Gálvez. También producción de arbustos como eucaliptos y arboles comerciales como el pino y ciprés.

En menor proporción de área son declaradas para cultivo, destacando la papa con un 60%, en un 20% de otros tubérculos (Olluco, oca, mashua), y 20% maíz amarillo y granos (trigo, cebada, lenteja).



Foto Nro. 5: Fotografía de recursos agropecuarios, en la Yerba Buena, Alpacocha marzo del 2019.

3.4.2. POBLACIÓN

El 80% está comprendido por el distrito de José Gálvez y el 20% restante lo componen los distritos de sucre, Huasmín y Celendín. (Ver Tabla Nro. 6 de Población total del censo durante los años 2004 al 2017).

Tabla Nro. 6: Población total del 2003 al 2017 de la provincia de Celendín de departamento de Cajamarca

Códigos	DISTRITOS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017
060301	CELENDÍN	25266	25568	25862	26152	26430	26697	26951	27193	27420	27638	27837	28030	26925
060302	CHUMUCH	3358	3351	3343	3333	3322	3308	3294	3276	3259	3240	3219	3196	2600
060303	CORTEGANA	8479	8530	8578	8621	8661	8696	8727	8754	8776	8796	8810	8819	6746
060304	HUASMIN	14271	14242	14210	14171	14124	14071	14011	13944	13871	13791	13705	13611	10657
060305	JORGE CHÁVEZ	684	678	671	664	656	648	639	631	623	614	605	597	441
060306	JOSÉ GÁLVEZ	3262	3197	3132	3067	3002	2936	2870	2805	2740	2675	2610	2545	2558
060307	MIGUEL IGLESIAS	4985	5047	5107	5165	5222	5276	5329	5378	5427	5472	5516	5556	3870
060308	OXAMARCA	6753	6785	6815	6841	6865	6885	6901	6914	6925	6932	6938	6937	5394
060309	SOROCHUCO	10638	10594	10544	10491	10432	10369	10301	10229	10151	10069	9982	9892	7352
060310	SUCRE	6266	6264	6261	6250	6238	6223	6206	6185	6162	6134	6106	6073	5055
060311	UTCO	1374	1382	1385	1390	1394	1398	1401	1405	1406	1408	1409	1408	1052
060312	LA LIBERTAD DE PALLÁN	7712	7839	7965	8089	8211	8331	8447	8561	8673	8781	8887	8988	6434

Fuente: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática)

Tabla Nro. 7: Población total del año 2017 del distrito José Gálvez

Código	Centros Poblados	Total	Código	Centros Poblados	Total	Código	Centros Poblados	Total
0001	HUACAPAMPA	383	0009	TAMBO	77	0019	FRAYLECOCHA	151
0002	BACON	57	0011	QUILLIMBASH	286	0020	RONDOCUSMA	3
0003	HUAÑAMBRA	206	0012	ALPACOCHA	51	0021	SANTA CLARA	13
0004	CHOCTAPAMPA	212	0013	CHAQUIL	103	0022	LINDERO	68
0005	CUSICHAN	94	0014	HUACAPAMPA VIEJO	312	0023	SANTA LUCIA	109
0006	EL TINGO	112	0015	CUNGAT	23	0024	AGUA COLORADA	9
0007	HUERTASIQUE	35	0016	CASHAPAMPA	40	0025	VISTA ALEGRE DE LA NUEVA ESPERANZA	12
0008	PARAISO	181	0017	BUEY MUERTO	21			

Fuente: INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática)

3.5. CARACTERISTICAS LOCALES

La zona de estudio está enfocada solo en rocas carbonatadas pertenecientes al periodo Cretáceo inferior y superior, conformado por las Formaciones: Chulec, Pariatambo, Yumagual, Mujrarún – Quilquinán, Cajamarca y Celendín; las cuales representan el 58.64 %, un 38.50 % son rocas volcánicas (Volcánico Humbos), 0.02 % son depósitos lagunares y finalmente un 2.84 % de depósitos aluviales.

En la tabla Nro. 8 los principales tipos de Rocas Sedimentarias, Volcánicas y Cuaternarios encontrados en la zona de estudio.

Tabla Nro. 8: Depósitos aflorantes en la zona de estudio

Formación	Área Km ²	Porcentaje
Qh-al	1.38	2.84 %
Qh-la	0.01	0.02 %
Nm-vh	18.62	39.50 %
Ks-ce	0.93	1.91 %
Ks-ca	6.26	12.95 %
Ks-qm	6.36	13.15 %
Ks-yu	14.46	29.89 %
Ki-pa	0.22	0.45 %
Ki-chu	0.14	0.29 %
TOTAL	48.38	100 %



Figura Nro. 7: Gráfico de los depósitos en porcentajes.

3.6. TÉCNICAS DE GABINETE

3.6.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y FUENTES DE DATOS

En primer lugar, se recopiló la información bibliográfica, cartográfica, fotográfica y documental existente acerca del tema de investigación. Para la búsqueda y revisión bibliográfica se recurrió a la consulta de las bases de datos de bibliotecas especializadas: INGEMMET, entre otras.

Por lo que respecta a la recopilación de datos numéricos, fundamentalmente meteorológicos e hidrológicos, se solicitaron conjuntos de información al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

En la recopilación cartográfica se recurrió a los organismos suministradores de bases topográficas y geológicas a nivel nacional, como el “Centro Nacional de Información Geográfica del IGN”.

3.6.2. CONTROL DE CALIDAD Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Es muy frecuente en Hidrología, al igual que en las demás ciencias relacionadas con la naturaleza, realizar el control de calidad y el tratamiento estadístico de los datos numéricos antes de ser utilizados en la investigación, con la finalidad de obtener resultados confiables.

La metodología de evaluación para el contraste, corrección, completado y restitución de datos meteorológicos usando el HIDROBAS v.3.0., se compone de los siguientes pasos escalonados: 1) Análisis de series disponibles; 2) Contraste de datos aplicando análisis de Dobles Masas; 3) Corrección de valores erróneos; y 4) Completado y restitución de datos.

3.6.3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

El método consiste en usar la información de los parámetros hidrogeológicos (porosidad y permeabilidad) medidos en campo, y finalmente con el estudio de esta información se establecen con mayor o menor precisión según los casos, los límites y tipos de las principales unidades hidrogeológicas.

Tabla Nro. 9: Clasificación de las unidades hidrogeológicas en función de su litología

TIPO DE ROCAS	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA
Rocas sedimentarias no consolidadas	Acuíferos porosos no consolidados
Rocas sedimentarias consolidadas	Acuíferos fisurados y Acuitardos
Rocas volcánicas	Acuíferos fisurados y Acuitardos
Rocas volcánicas-sedimentarias	Acuíferos porosos, fisurados y Acuitardos
Rocas intrusivas y metamórficas	Acuitardos, Acuicludos y Acuífugos

Fuente: Sánchez (2012)

Caracterización Hidrogeológica según datos de Porosidad y Permeabilidad

La metodología para realizar la caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas según los datos de porosidad (%) y permeabilidad (m/día), se basa en la combinación de datos según tablas de caracterización hidrogeológica según datos de porosidad y permeabilidad

Tabla Nro. 10: Porosidad (m%)

Tipo	POROSIDAD TOTAL (m%)	
A	Baja	$m < 5\%$
B	Media	$5\% < m < 10\%$
B	Alta	$m > 10\%$
D	Alta por fisuración	$m < 5\%$
	Alta por fisuración	$5\% < m < 10\%$
E	Muy Alta por fisuración	$m > 10\%$

Fuente: modificado de Castany (1963)

Tabla Nro. 11: Permeabilidad (K m/día)

Tipo	PERMEABILIDAD (K m/día)	Según datos tabulados y densidad de fracturas	Según pruebas de infiltración puntual
I	Muy baja	$K < 10^{-2}$	$K < 5$
II	Baja	$10^{-2} < K < 1$	$5 < K < 10$

Tipo	PERMEABILIDAD (K m/día)	Según datos tabulados y densidad de fracturas	Según pruebas de infiltración puntual
III	Media	$1 < K < 10$	$10 < K < 20$
IV	Alta	$10 < K < 100$	$20 < K < 45$
V	Muy Alta	$K > 100$	$K > 45$

Fuente: Sánchez (2012)

Los rangos de permeabilidad para los métodos de ensayos de infiltración puntual y densidad de fracturas han sido obtenidos mediante análisis estadístico de 84 puntos obtenidos de la base del INGEMMET. Los rangos de permeabilidad según método de densidad de fracturas han sido obtenidos de la relación densidad vs permeabilidad.

La característica hidrogeológica de cualquier roca o formación geológica está definida por dos factores:

Su **capacidad de almacén**, de almacenar agua y cederla después (**porosidad, coeficiente de almacenamiento**).

Su **capacidad de trasmisor**, de permitir que el agua circule a través de ella (**permeabilidad, transmisividad**).

Tabla Nro. 12: Clasificación hidrogeológica por símbolos

Símbolo	CLASIFICACIÓN		m	K
A	Ae	Acuífero excelente	Alta	Muy alta
	Ar	Acuífero regular	Media	Alta
	Ap	Acuífero pobre	Baja	Media
AT	ACUITARDO		Alta a moderada	Baja a moderada
AC	ACUICLUDO		Alta	Muy alta
AF	ACUIFUGO		Nula o muy baja	Nula o muy baja

Fuente: modificado de Francisco Javier Sánchez San Román (2018)

Tabla Nro. 13: Comportamiento de la permeabilidad según los valores

K (m/día) según datos tabulados	10⁻²	1	10	10²	10⁴
COMPORTAMIENTO	Impermeable	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
K (m/día) según pruebas de infiltración puntual	5	10	20	45	100
CLASIFICACIÓN	AC	AT	Ap	Ar	Ae

Fuente: Sánchez (2012)

Tabla Nro. 14: Clasificación hidrogeológica según "Porosidad (m)" y "K"

m (%)	K (m/día)	Comportamiento	CLASIFICACIÓN
A	I	Impermeables	
A	II	Impermeables	
A	III	Poco permeables	
A	IV	---	---
A	V	---	---
B	I	Impermeable	AF, AC
B	II	Poco permeable	AC, AT
B	III	Poco permeable	AT, Ap
B	IV	Algo permeable	Ap, Ar
B	V	Permeable	Ar
C	I	Impermeable	AF, AC
C	II	Poco permeable	AC, AT
C	III	Algo permeable	AT, Ap
C	IV	Permeable	Ar, Ae
C	V	Muy permeable	Ae
D	I	Impermeable	AF, AC
D	II	Poco permeable	AT
D	III	Algo permeable	AT, Ap
D	IV	Permeable	Ar
D	V	Muy permeable	Ae
E	I	---	---
E	II	---	---

m (%)	K (m/día)	Comportamiento	CLASIFICACIÓN
E	III	---	---
E	IV	Muy permeable	Ar - Ae
E	V	Muy permeable	Ae

Fuente: Sánchez (2012)

Por ejemplo: si se tiene una roca con porosidad primaria mayor a 10 % será del “Tipo C” y si la permeabilidad de esta roca medida por una prueba de infiltración es de 30 m/día entonces será del “Tipo IV”; esto significa que en la tabla Nro. 11 esta roca será del “Tipo C-IV”, quiere decir que esta roca tiene un comportamiento permeable y puede ser clasificada como Acuífero Regular “Ar” o Acuífero Excelente “Ae”.

3.7. TÉCNICAS DE CAMPO

Básicamente las labores de campo se centraron en dos tareas. Una es el inventario georreferenciado las fuentes de agua, midiendo sus parámetros fisicoquímicos e hidráulicos. La segunda tarea, consistió en la cartografía hidrogeológica de superficie mediante el reconocimiento de las formaciones geológicas sobre las cuales se hicieron ensayos de infiltración puntual y medidas de la densidad del fracturamiento, con la finalidad de calcular la permeabilidad.

3.7.1. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

La metodología para realizar el inventario de fuentes de agua inicia con la distribución de brigadas de campo para la recolección de información técnica. En los puntos de agua, junto a la descripción del entorno geológico, se midió el pH, la temperatura (T °C). Estos parámetros fisicoquímicos, se midieron con un pHmetro Digital HI98128, estos equipos fueron calibrados cada día al iniciar el trabajo de campo.



Figura Nro. 8: Equipo utilizado para la medición de parámetros fisicoquímicos en campo, es medidor digital HI98128 con este equipo se realizó las mediciones de pH, temperatura (°C).

3.7.2. AFORO DE MANANTIALES

En cada uno de los manantiales inventariados, al mismo tiempo medida de sus parámetros fisicoquímicos, se hicieron las medidas de los parámetros necesarios para el cálculo del caudal de dichas fuentes usando el método volumétrico del balde/cronómetro (APDF, 2002):

El método del balde consiste simplemente en utilizar un balde graduado en litros (Foto Nro. 6). Para medir el flujo de agua, sólo basta recoger toda el agua que pasa por el tubo o canal que conduce el agua hasta el balde y tomar el

tiempo que tarda en llenarse, finalmente el caudal se calcula con la fórmula Nro.10 del capítulo anterior.

Para caudales de más de 4 l/s, es adecuado un recipiente de 10 litros de capacidad que se llenará aproximadamente en 2.5 segundos. En el caso de caudales mayores, un recipiente de 200 litros puede servir para corrientes de hasta 50 l/s. El tiempo que se tarda en llenar se medirá con precisión, especialmente cuando sea de sólo unos pocos segundos. En el presente estudio se utilizaron baldes de 8 litros, debido al bajo caudal que presentan los manantiales inventariados



Foto Nro. 6: Método volumétrico del balde/cronómetro para el caudal de manantiales.

3.7.3. DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD

Una vez realizado un primer esquema hidrogeológico mediante la caracterización de las distintas formaciones geológicas según los datos de porosidad y permeabilidad obtenidos de las tablas de caracterización en el trabajo de gabinete, se procedió a la comprobación y validación en campo de los elementos dibujados.

Para ello se realizaron diversos recorridos e itinerarios en donde el objetivo principal es determinar las formaciones geológicas permeables e impermeables, mediante el inventario de manantiales que indican los puntos de descarga de los acuíferos, ensayos de infiltración puntual y medida de densidad de fracturas de los macizos rocosos.

Ensayos de Infiltración Puntual. - Para determinar la permeabilidad en medios porosos no consolidados (depósitos cuaternarios) y en rocas compactas con porosidad primaria (Ejm. Calizas y rocas volcánicas), se utilizó

el método del permeámetro de carga variable mediante los ensayos de infiltración puntual (Foto Nro. 7).

La metodología del permeámetro de carga variable consiste en hacer pasar a través de una longitud dada (L , longitud del tubo), un cierto volumen de agua (Q), durante un tiempo determinado (t). Conociendo la altura de la carga hidráulica (h) y la sección (A) de la muestra (diámetro del tubo), la permeabilidad de Darcy o conductividad hidráulica (K) se obtiene con la Fórmula Nro. 5 del capítulo anterior.



Foto Nro. 7: Ensayo de infiltración puntual en diferentes afloramientos rocosos. A la izquierda, detalle de la carga hidráulica. Al centro, detalle del permeámetro cargado de agua. A la derecha, detalle de la medida del descenso de agua en el permeámetro después de 5 minutos.

Método de la Densidad de Fracturas. -Para estimar la permeabilidad en medios fracturados, se elaboró una metodología especial para estos fines. Para ello es necesario tener en cuenta que los medios fracturados se definen como una matriz poco permeable atravesada por una cantidad mayor o menor de fracturas hidráulicamente conductivas (fracturas por donde puede circular el agua), y que la mayor parte del flujo circula sólo por algunas de estas fracturas, característica que marca el comportamiento del medio fracturado. Por esto, es necesario caracterizar estas fracturas para comprender la dinámica de los flujos subterráneos a través de ellas y finalmente llegar a la caracterización hidrogeológica del macizo rocoso.

Lamentablemente, no existe una metodología ampliamente aceptada para estimar la permeabilidad en medios fracturados, en este contexto, uno de los objetivos principales de la presente tesis es poner en consideración una metodología para caracterizar los medios fracturados, la cual se describe a continuación:

Primero. - Seleccionar aquellas zonas o afloramientos rocosos en donde se observa un grado del fracturamiento moderado a intenso, es decir, la superficie seleccionada deberá tener más del 25% del área fracturada.

Segundo. - En estos afloramientos se tiene que tomar fotografías con campos visuales que permitan cubrir, en la horizontal, una longitud de aproximadamente 10, 1, y 0.1 m (Figura Nro. 9). Siempre las fotografías de escalas menores deben estar incluidas en el campo visual de la fotografía de escala mayor.

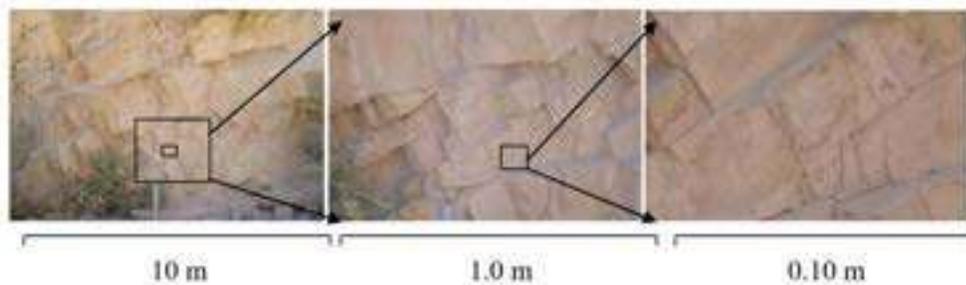


Figura Nro. 9: Cada foto fue tomada representando la mayor área. Nótese el acercamiento (Zoom) está fijando en el rectángulo para lograr visualizar la densidad de fracturas

No es el caso del presente estudio, pero debería tomarse adicionalmente una muestra orientada, para elaborar una lámina delgada y proceder a tomar fotomicrográficas de escalas milimétricas (0,01 y 0,001 m), siguiendo los mismos criterios que en las escalas mayores. Se hace necesario el análisis de láminas delgadas ya que las microfracturas producen la permeabilidad adquirida por porosidad secundaria de una roca.

Tercero. - En un papel transparente colocado sobre las fotos se debe trazar manualmente las fracturas que se puedan observar con claridad y luego proceder a medir la longitud de cada una de ellas. (Figura Nro. 9) También se puede utilizar programas informáticos para trazar las fracturas (Ejemplo: AutoCad o ArcGis).



Figura Nro. 10: Ejemplo de trazas de fracturas. En cada caso se trazaron manualmente cada una de las trazas de fracturas usando papel transparente colocando la fotografía y se registró su longitud y área para cada fotografía.

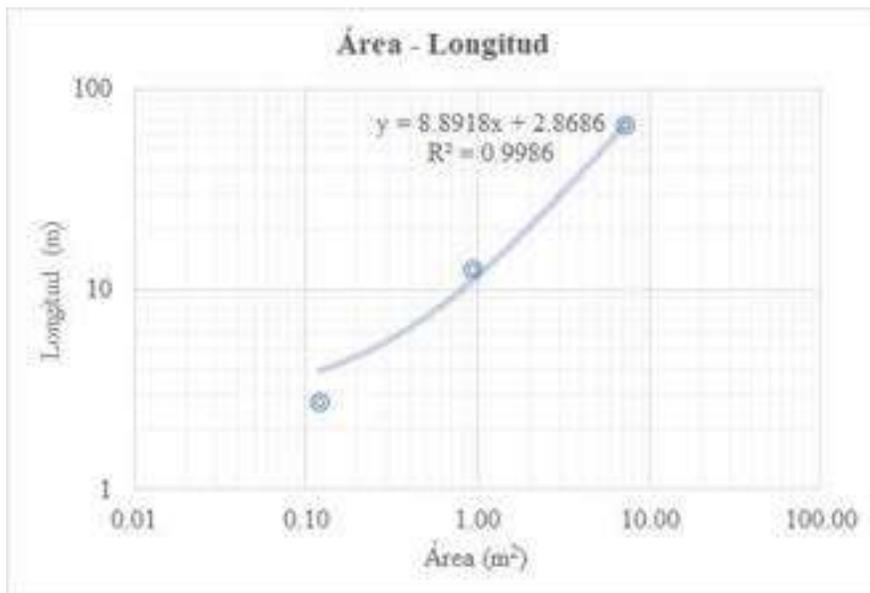
Cuarto. - Con los datos de longitudes de cada fotografía, se calculan los siguientes parámetros (Figura Nro. 11): Longitud total de fracturas (L), Intensidad de fracturas (I) y Densidad de fracturas (D) usando las Fórmulas Nro. 6, 7 y 8 del capítulo anterior.

A = 7.22 m²,
L = 66.91 m,
I = 9.27,
D = 0.88.

A = 0.94 m²,
L = 12.59 m,
I = 13.40,
D = 0.56.

A = 0.12 m²,
L = 2.73 m,
I = 23.79,
D = 0.75.

Si graficamos los valores calculados para cada parámetro con respecto al área, veremos que la densidad es el único parámetro que no sufre variación significativa con el cambio de área, por lo cual, usaremos dicho parámetro para establecer una relación con la permeabilidad (Figura Nro.10).



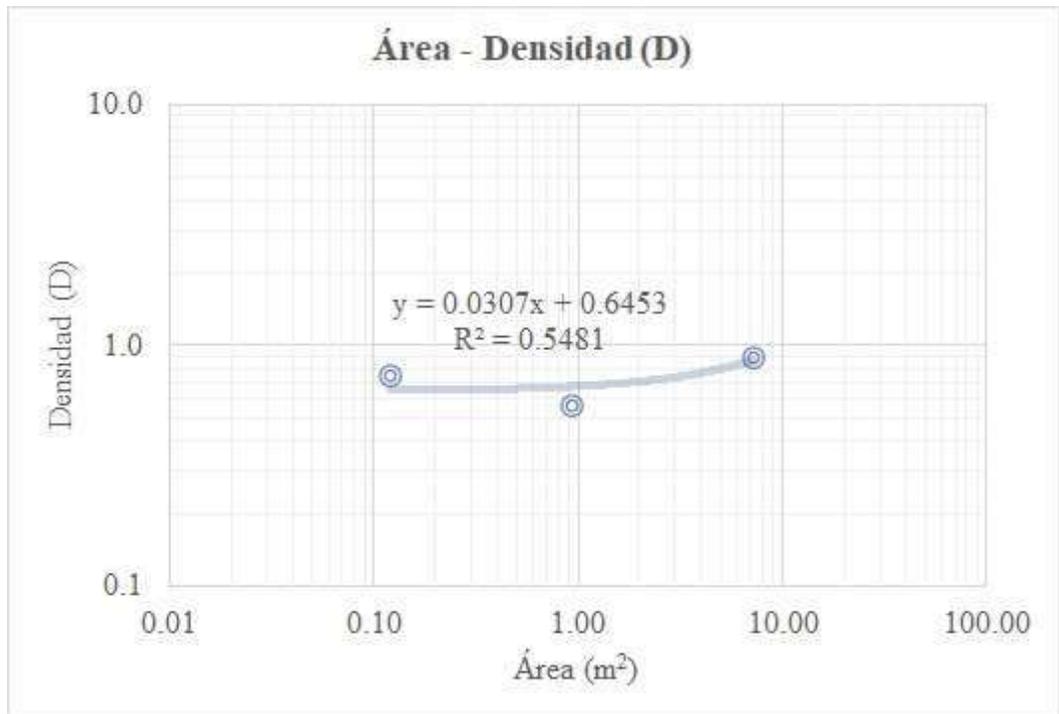
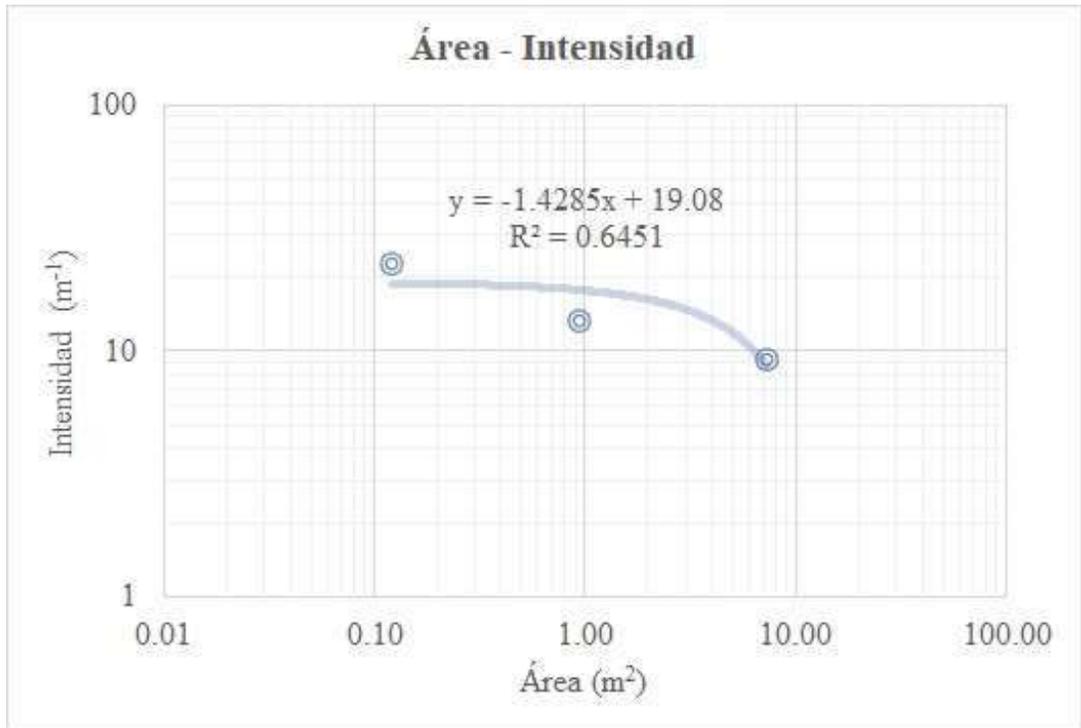


Figura Nro. 11: Gráfica en espacio logarítmico de densidad de fractura contra área (Nieto, 2003). Nótese que existe un valor máximo de la densidad que tiene a la horizontal con el cambio de área.

Quinto. - Para determinar la permeabilidad, primero se evaluó el diagrama de permeabilidad vs longitud de fracturas para una superficie de 10 m² establecidas por Zimmermann (2000), del cual se obtuvo la relación longitud vs densidad (Figura Nro.11). Luego se estableció una escala de correlación entre las tres variables: permeabilidad, longitud y densidad de fracturas (Figura Nro.12). finalmente, con los datos calculados se elaboró un gráfico de caracterización hidrogeológica para medios fracturados por el método de densidad de fracturas (Figura Nro.13).

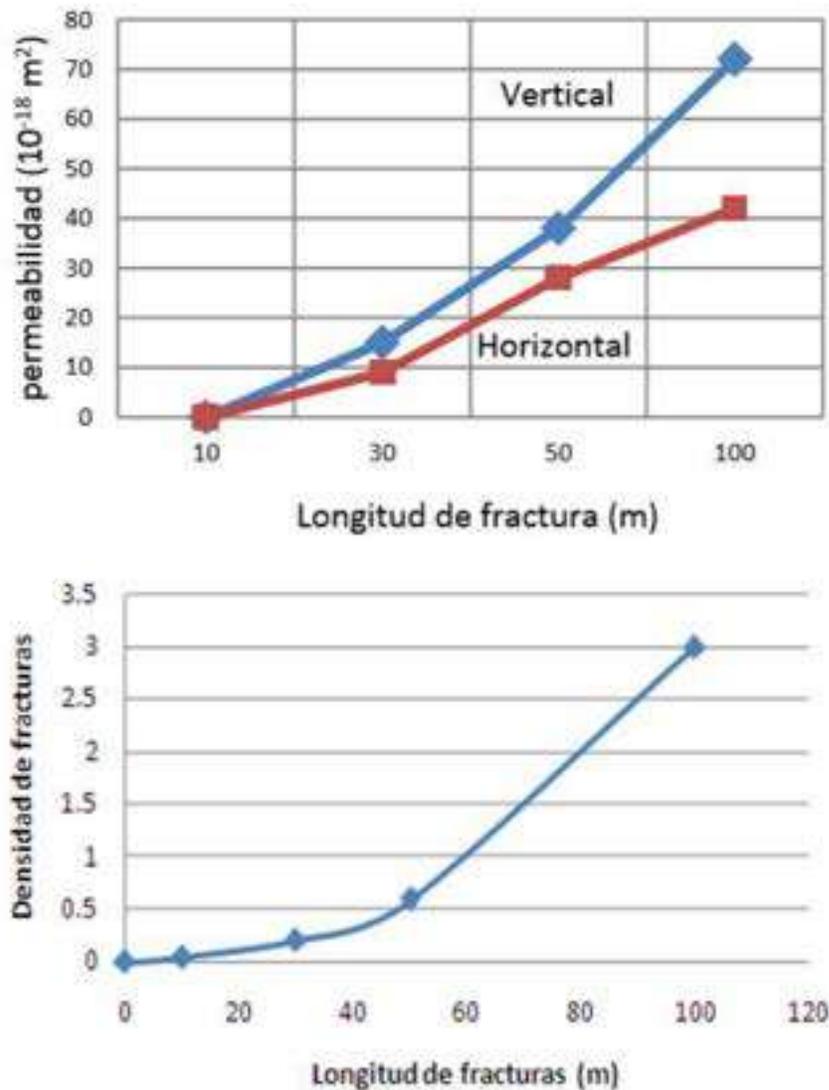


Figura Nro. 12: Superior: diagrama para el cálculo de la permeabilidad en dirección horizontal y vertical de una red estocástica de fracturas en una superficie de 10 m² (Zimmermann et al., 2000). Inferior: Diagrama que relaciona a la densidad y longitud de fracturas.

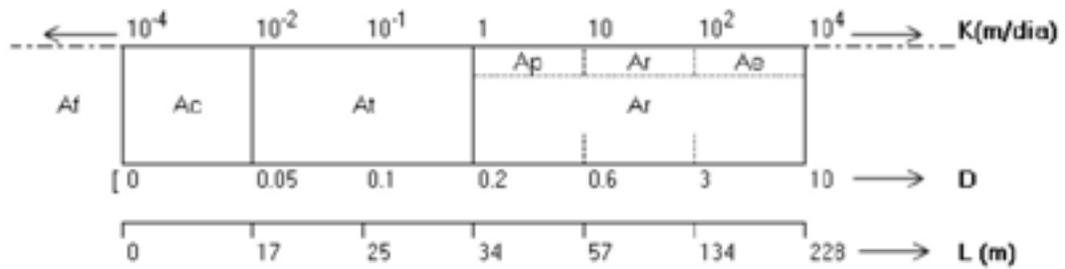


Figura Nro. 13: Escala de correlación entre conductividad hidráulica, longitud y densidad de fracturas en una superficie de 10 m^2 .

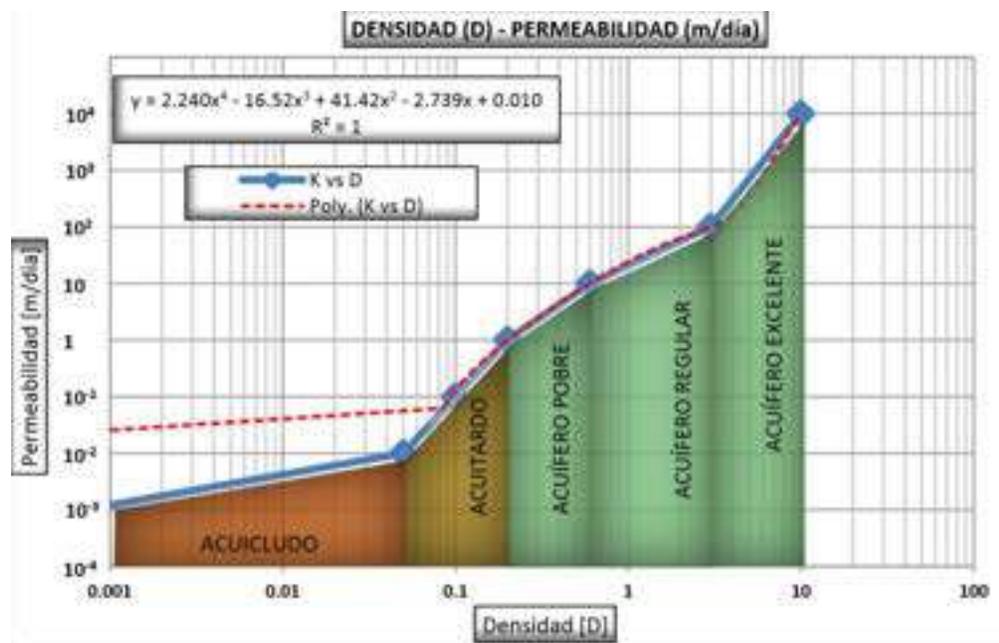


Figura Nro. 14: Diagrama de cálculo de la permeabilidad (K) en una red estocástica de fracturas en función de su densidad del fracturamiento (D). Obsérvese la curva y ecuación potencial que correlacionan las dos variables.

Sexto. - La permeabilidad, expresada en m/día, será el promedio aritmético de los resultados obtenidos para las tres fotografías analizadas con el gráfico de permeabilidad vs densidad. La ecuación polinómica de cuarto grado ha sido generada a partir de la línea de tendencia que mejor se ajusta al modelo propuesto (Figura Nro. 14).

También se recomienda que los valores obtenidos por este método, tomarlos como datos cualitativos referenciales, no reemplaza a los obtenidos

mediante pruebas hidráulicas directas. Es útil para caracterizar y establecer zonas preferentes de infiltración, pero no para utilizar como valor absoluto.

3.8. METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACION

3.8.1. TIPO Y MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación será descriptivo, con un diseño no experimental, de sección transversal.

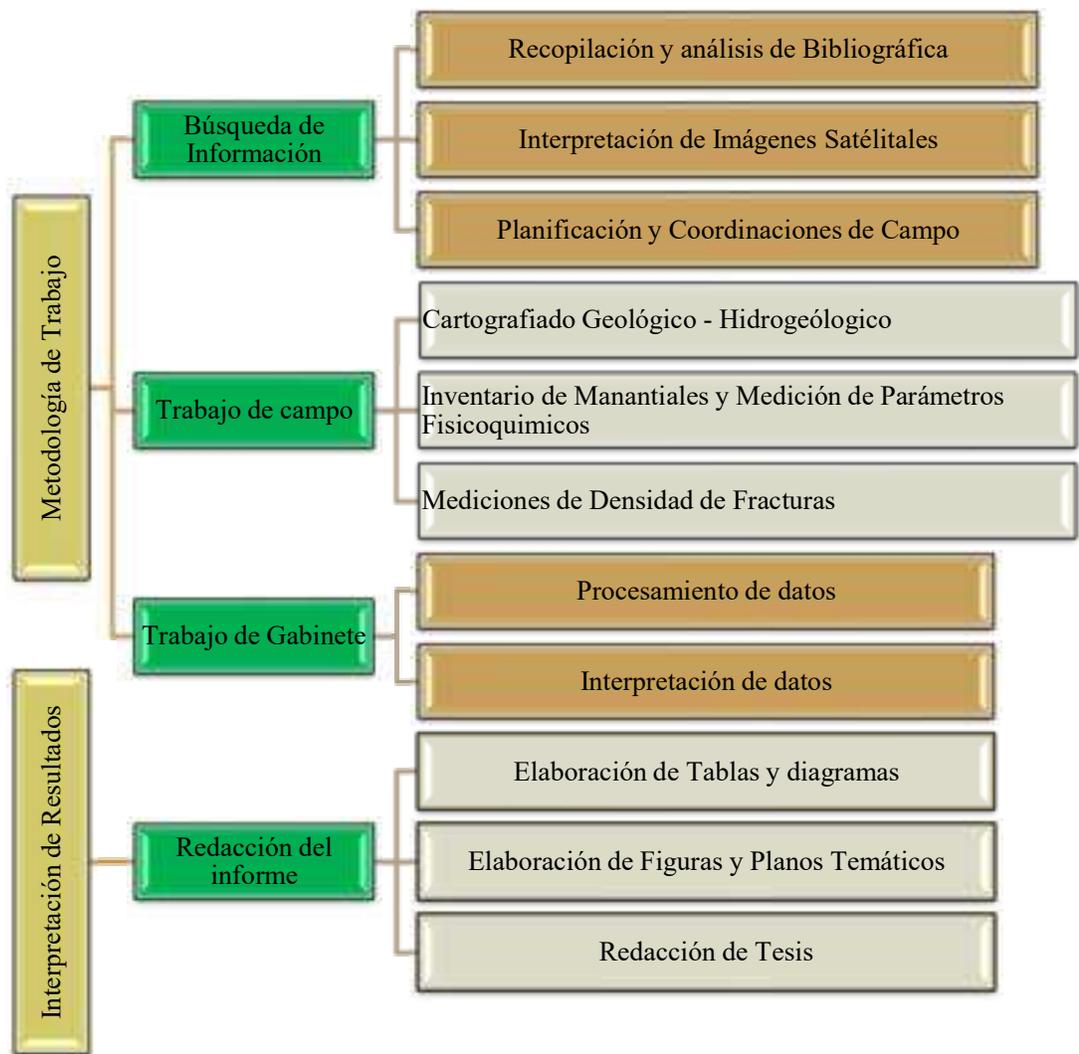


Figura Nro. 15: Metodología de trabajo.

3.8.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Las rocas carbonatadas, esencialmente sus afloramientos en los sectores de las microcuencas de Fraylecocha y Uñigan, en el distrito de José Gálvez, Provincia de Celendín - Cajamarca.

3.8.3. MUESTRA

La microcuenca “Fraylecocha y Uñigan” las zonas de estudio, obtendremos una comparación en los parámetros hidrogeológicos, parámetros Geomorfológicos y litología por cada una.

3.8.4. UNIDAD DE ANÁLISIS

Densidad de Fracturas, petrología, Topografía, red de drenaje, Porosidad eficaz (Me), Permeabilidad (K), Aforo de Manantiales, Infiltración.

3.8.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÉCNICAS

Observación dirigida (Directa): En campo recopilar datos importantes.

Análisis documental (Análisis de antecedentes): Sirve para definir las estaciones geomecánicas en el campo.

Fotografías antiguas (Interpretación de imágenes satelitales, planificar y realizar cronograma de actividades de campo): Nos ayuda a interpretar los cambios en la geomorfología.

Columnas Estratigráficas y Secciones geológicas antiguas: Nos ayudan a determinar la geología estructural de la zona de estudio.

Se analizará las condiciones superficiales y subterráneas del agua: nos ayuda a encontrar la orientación del agua subterránea.

3.8.6. EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN

Libreta de Campo: Ayuda a las anotaciones, dibujos de mano alzada.

GPS, Navegador: Nos ayuda a llegar al punto de investigación y a georreferenciar los puntos de interés.

Brújula Brunton: Brinda datos de precisión de rumbo y buzamientos de los estratos.

Lupa IWAMOTO 20x: Ayuda a identificar los cristales y textura de las rocas.

Cámara digital: Ayuda con el registro fotográfico de los puntos y rasgos de interés.

Flexómetro de 5 m: Brinda datos métricos en los ensayos de carga puntual.

Computadora – Laptop: Ayuda en la digitalización del informe y cálculo de datos.

pHmetro HI 98128: Brinda datos del pH y temperatura del agua.

Software ArcGis 10: Nos ayuda con la elaboración de los planos temáticos.

Microsoft Office: Brinda los gráficos, producto del procesamiento de datos.

Software Google Earth: Ayuda con las estaciones geomecánicas en campo.

Tubería PVC ¾": Nos ayuda como conducto de agua para el ensayo de carga puntual.

3.8.7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

El análisis de los datos se realizará en etapa de gabinete, los datos procesados de campo son plasmado en el plano topográfico y secciones estratigráficas utilizando softwares AutoCAD y ArcGis.

En Microsoft office (Excel y Word) la elaboración de tablas y diagramas para análisis estadístico y redacción del informe.

Elaboración de Planos Temáticos. - El despliegue final de los planos temáticos fue construido a partir de un mapa base (curvas de nivel, vías de acceso, centros poblados, hidrografía y la cuenca hidrográfica delimitada), a diferencia del mapa de pendientes que tuvo que ser elaborado a partir del modelo digital de elevación (MDE) y digitalizados con el software ArcGis 10.

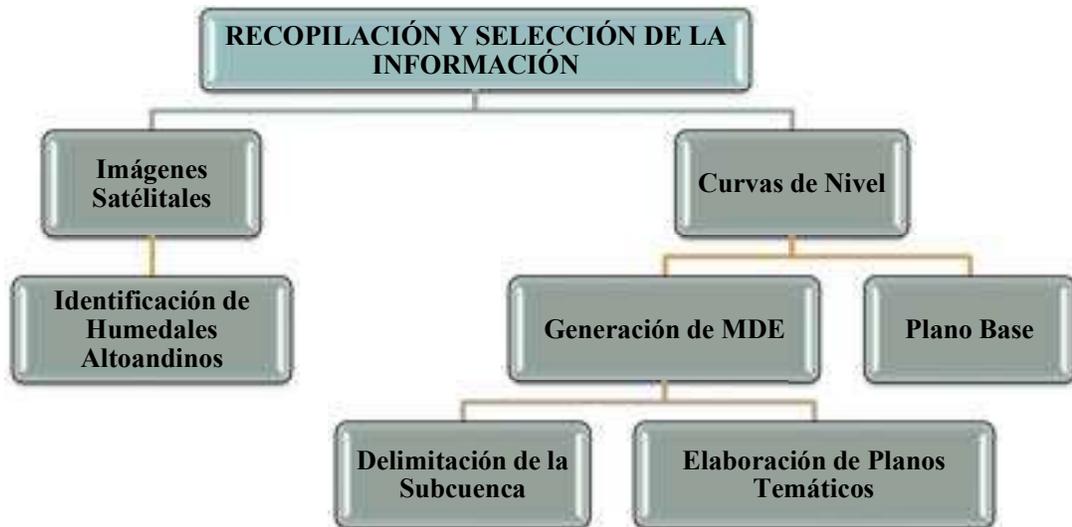


Figura Nro. 16: Diagrama de flujo modificado para la obtención de cada uno de los planos (Sheng,1972).

3.8.8. ANÁLISIS MORFOLÓGICO

Como primera actividad se realizó la delimitación de la cuenca la cual fue basada en un modelo digital de elevación (MDE) el cual fue generado a partir de un TIN (Red de triángulos irregulares) y este a partir de curvas de nivel elaborados por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), a escala 1 / 100 000, luego se calculó los flujos de dirección que sirve para determinar la dirección en la que el agua fluye fuera de cada pixel o celda del (MDE), luego el flujo de acumulación, de este modo es posible saber cuánta agua puede recibir una celda determinada, las líneas de drenaje que es un sistema jerarquizado de cauces desde pequeñas quebradas hasta los grandes ríos. Para realizar el cálculo se utilizó las herramientas: Flow accumulation, Flow direction y Stream Link, del menú Hidrology en software ArcGis 10 y finalmente se obtuvo la cuenca delimitada. Para los parámetros relativos a la forma fue necesario

calcular: El área de la cuenca, el perímetro, largo y ancho de la cuenca, finalmente se obtuvo el factor forma en relación con el ancho y largo de la cuenca, y el índice de compacidad o coeficiente de Gravellius. Seguidamente para calcular los parámetros relativos al relieve, la pendiente media de la cuenca y pendiente media del cauce principal se obtuvo en función de las cotas (cota mayor y cota menor) del modelo digital de elevación, entre el desnivel que existe entre estas siendo el caso de la cuenca y cauce principal respectivamente. Así mismo el cálculo de las áreas parciales en función a la altitud se dividió el área de la cuenca en 6 intervalos cada uno de 550 m. Finalmente se determinó los parámetros relativos al drenaje tales como la densidad de drenaje en función de la longitud total de los tributarios en km y el área total de la cuenca en km², así como también la curva hipsométrica, todos los resultados obtenidos se basan en la utilización y digitalización del software ArcGis 10.

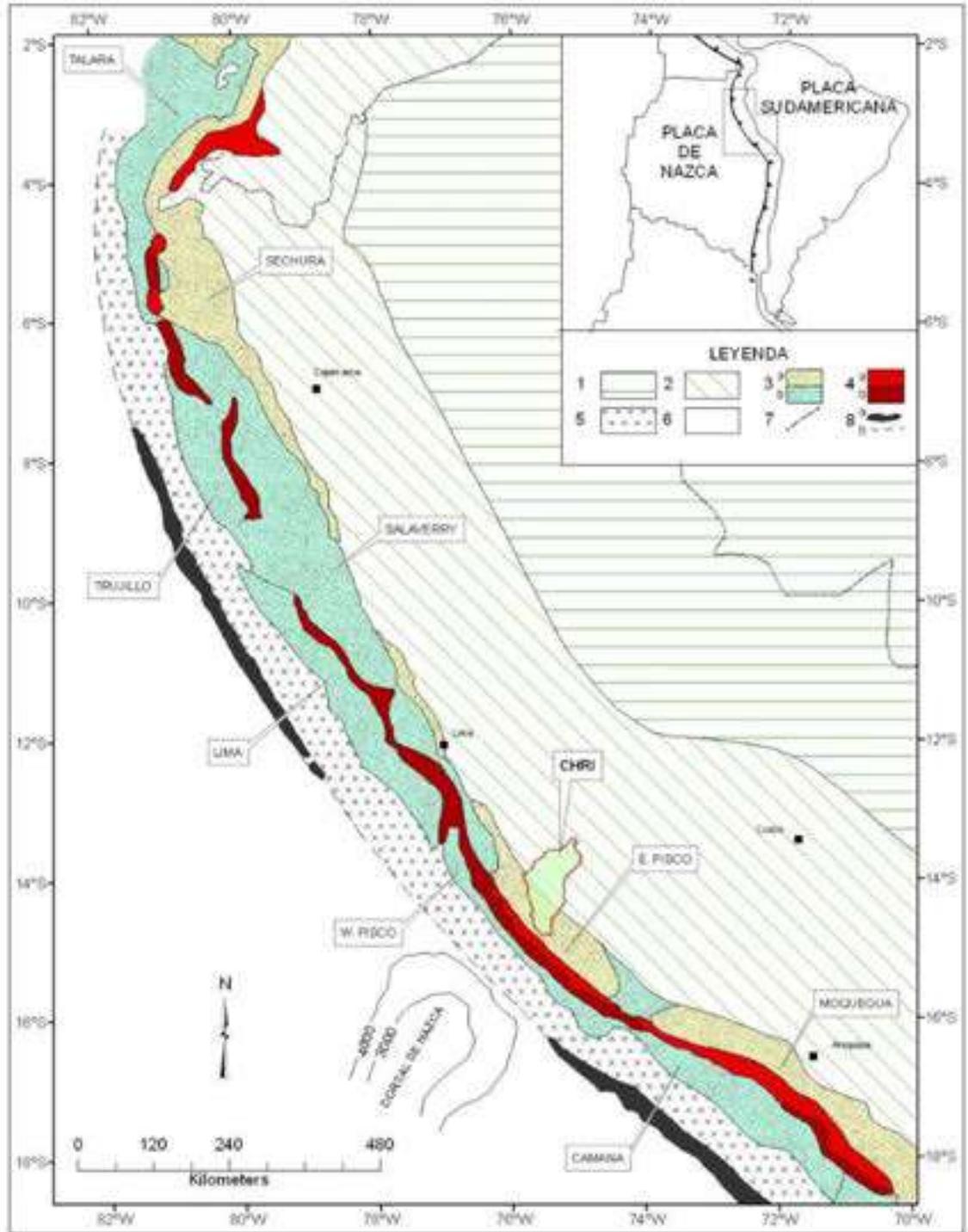
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la investigación se presentan en el siguiente orden: Geología, para conocer el tipo de formaciones geológicas que atraviesa el agua en su recorrido superficial y subterráneo; Geomorfología, para conocer la afluencia de configuración actual de la cuenca con respecto al flujo del agua; Hidrología, para cuantificar la disponibilidad total del agua superficial que ingresa y sale de la microcuenca hidrográfica por factor hidrológicos; Hidrogeología, para ubicar los potenciales acuíferos en toda la microcuenca hidrográfica.

4.1. GEOLOGÍA

La Microcuenca Hidrográfica está a margen continental peruana (Figura Nro. 16), uno de los bloques litosféricos situados entre las grandes placas; Sudamericana (al este) y de Nazca (al oeste). Este bloque, ha presentado durante el Cenozoico un movimiento relativo de acortamientos en dirección E-W por convergencia de las dos grandes placas que la bordean (Marcharé). Emplazada sobre corteza terrestre de carácter continental orogénico, la zona de estudio presenta unidades litoestructurales incluidas en dos de los grandes conjuntos geológicos diferenciados en la margen continental, la Cordillera Occidental que se localiza en el dominio andino, y pertenece a la unidad hidrográfica de Alto Marañón IV (Figura Nro. 4, p. 21).

4.1.1. La Cordillera Occidental. - Es la sede del arco magmático cenozoico y conforma la parte occidental de los Altos Andes cuya altura promedio es de 4 000 m (Macharé, 1986), perteneciente al cinturón orogénico peripacífico de América del Sur (Cinturón de Fuego del Pacífico).



1.- Dominio amazónico. 2.- Dominio andino. 3.- Cuencas de antearco: a) subaéreas b) submarinas. 4.- Altos estructurales: a) subaéreos: Cordillera de la Costa b) submarinos: OSH. 5.- Talud medio e inferior. 6.- Placa de Nazca. 7.- Fronteras. 8.- Fosa oceánica: a) más de 6000 m b) menos de 6000 m. CHR1: Cuenca Hidrográfica del Río Ica. FUENTE: Macharé, 1986.

Figura Nro. 17: Mapa estructural simplificado de la margen peruana.

4.2. GEOLOGÍA LOCAL

4.2.1. FORMACIONES CARBONATADAS

Las Formaciones presentes en la zona de estudio, pertenecen a cretáceo inferior y superior, a continuación, se hace una descripción de las características litológicas de las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona de estudio, Wilson, John. (1984). "Geología del Cuadrángulo Celendín", hoja 14-g". INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n°38, Plano N°05, Plano Geológico – Estructural.

4.2.2. FORMACIÓN CHULEC

Aflora en la margen derecha de la Quebrada Molinopampa, llegando hasta la parte izquierda del Río Quillimbash.

Este nombre fue empleado por primera vez por Mac Laughlin (1925) en la región del Perú central y Benavides V. (1956) la elevó a la categoría de Formación y consiste en una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema amarillenta. Los sedimentos componentes de la Formación Chúlec son mayormente blandos, la topografía que se desarrollo es de lomadas de pendientes suaves. Su aspecto terroso amarillento es una característica para reconocerlo en campo y su potencia varía entre 200 a 250 m.

Paleontología - Edad. – Es muy fosilífera, las Knemiceras Raymondi asociado a los Parengonoceras, Knemiceras, Prollyelliceras, Lyelliceras, Douvilleiceras y Exógiras, le asignan una edad Albiano medio inferior. Benavides V. (1956).

Ambiente de Sedimentación. - La Formación Chúlec representa una segunda etapa de la transgresión marina del Albiano. La naturaleza arcillosa del material clástico hace suponer que el mar durante esta deposición de sedimento alcanzó una mayor profundidad que la que predominó durante la deposición de la Formación Inca, aunque en general el mar era somero.

Relación Estratigráfica. – Sobreyace concordante a la Formación Inca e infrayace concordante a la Formación Pariatambo.



Foto Nro. 8: Fm Chulec en el caserío de Huañambra, con vistas al suroeste (SW).

4.2.3. FORMACIÓN PARIATAMBO

Benavides (1956), lo eleva a categoría de Formación. Su litología es una alternancia de lutita negras en estratificación delgada, con calizas oscuras bituminosas de olor fétido y calizas negras carbonatadas en la parte superior conteniendo horizontes de Chert.

Presenta estratos de 20 a 40 cm y capas delgadas de margas grises; atravesando por numerosas vetillas de calcita. Tiene un espesor promedio de 150 m.

En la zona de estudio está presente en el caserío de Los Blancos.

PALEONTOLOGÍA – EDAD

Abundantes amonites, caracterizado por el *Oxitropidoceras Carbonarium*, asociado a *Desmoceras*, *Knemiceras*, *Venezoliceras*, *Lyelliceras*, *Exógiras* le asignan la edad de la parte superior del Albiano Medio (BENAVIDES V., (1956)).

AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN

El contenido bituminoso marca un ambiente marino anaeróbico de plataforma. La presencia de la facies auxínica.

RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Sobreyace concordante a la Formación Chulec e infrayace concordante a la Formación Yumagual.

4.2.4. FORMACIÓN YUMAGUAL

Consiste en una secuencia de margas y calizas gris-parduscas en bancos más o menos uniformes destacando un miembro medio – lutáceo margoso amarillento; dentro de un conjunto homogéneo presenta escarpas elongadas debido a su dureza uniforme. Algunas veces se intercalan bancos calcáreos, compuestos en su mayor parte por restos de fósiles Oxitropidoceras.

Además, por efectos de la meteorización pasa a un color amarillento, con un grosor de unos 200 m.

PALEONTOLOGÍA – EDAD

Se caracteriza por tener Lopho, Liophista, que representa al Albiano superior y parte del cenomaniano (BENAVIDES V., (1956)).

AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN

Se depositó en un ambiente marino de plataforma.

RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Sobreyace concordante a la Formación Pariatambo e infrayace concordante a la Formación Mujarrún, como puede observarse en el Quillimbash, aflorante por la carretera asfaltada.



Foto Nro. 9: Fm Yumagual, aflora en la comunidad de Quillimbash, vista al suroeste (SW).

4.2.5. FORMACIÓN MUJARÚN Y GRUPO QUILQUIÑÁN

Tafur I. (1950) reconoció con el nombre de Formación Mugarún y Quilquiñán a dos unidades consecutivas, integradas dentro del Grupo Pulluicana y Otuzco respectivamente; más tarde Benavides (1956) diferencia en Formación Mugarún a los miembros Choro, Culebra y eleva a la categoría de grupo a la Formación Quilquiñán diferenciado dentro de él a las Formaciones Romirón y Coñor.

En la presente tesis consideramos como una sola unidad a la Formación Mugarún y al Grupo Quilquiñán, por razones de litología, de acuerdo con Reyes (1980); Geología de los cuadrángulos de San Marcos y Celendín (Hojas 15 g y 14 g), alcanzando un espesor de 500 m.

La parte Inferior de la secuencia (Formación Mugarún), descansa concordante sobre la Formación Yumagual, mientras la parte superior (Gpo. Quilquiñán), infrayace con discordancia paralela a la Formación Cajamarca.

La base consiste en unos bancos potentes de caliza nodulares macizas (miembro Choro), seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas con abundantes elementos del género *exogyra* (miembro Culebra). Continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas, pardo amarillentas, también

fosilíferas (Fm. Romirón). Finalmente, calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles (Fm. Coñor).

Esta unidad tiene una extensa distribución en el área de estudio, específicamente aflora en la carretera asfaltada, en el centro poblado Quillimbash.

PALEONTOLOGÍA – EDAD.

La parte intermedia de esta unidad contiene abundante *Exogyra ponderosa* y *Oxogyra africana* que marcan una edad Cenomaniano Medio.

La presencia de *Lissoniceras inermeti*, *Acanffiocenis chasca*, *Neilhea*, *Plicatula*, *Exogyra* polígona. *Cordita* gris con intercalaciones; indican edad Cenomaniano Superior para la Fm. Romirón. Cefalópodos; *Mammites nodosides*, *Thomasites ficheri*, *Hoplitoides inca*, *pelecípodos*, *Inoceramus Labiatus*, *plicatula*, *Corbuta*, *echinoidea*, *Hemiaster fourneli* y los amonites *Coleóptera jenksi* marcan el Turoniano inferior para la Fm. Coñor.

AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN

La litología de la Formación Mujarún es por sus características litológicas y fauna de ambiente marino poco profundo y de facies trasgresiva.

La litología del Grupo Quilquiñán y la fauna abundante de amonites, *echinoidea* y *lamelibranchios* incluyendo a *coquinas* de *exógyras* indican un mar somero de plataforma. La Formación Romirón es de facie regresiva, mientras la Formación Coñor es de facie transgresiva y la zona de aporte clástico estuvo más lejana (Benavides, 1956).



Foto Nro. 10: Fm Mugarín y Quilquiñán, aflorante en Quillimbash, vista al suroeste (SW).

4.2.6. FORMACIÓN CAJAMARCA

Nombre dado por el Dr. V. Benavides (1956); en la Cuenca Occidental tiene una litología bastante uniforme de caliza fina, pura y micrítica de color marrón claro y estratificación muy gruesa a mediana, en muchas áreas de calizas es tan fina y pura que prácticamente constituye una caliza fitográfica.

Esta Formación se puede observar en la localidad de Alpacocho y Uñigan, resalta por su topografía kárstica, formando picos y aristas prominentes y su grosor varía entre 600 m y 700 m.

PALEONTOLOGÍA – EDAD

La presencia de *Coilopoceras*, *Inoceramus*, *Inoceramus peruanus*, *Plicatulopecten ferryi*, *Cardium Lissoni*, *Hemiaster*, le confiere una edad Turoniano Superior.

AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN

La fauna y la fitología indican un mar somero de plataforma carbonatada alejada de la zona de aporte clástico.

RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Sobreyace concordante a la Formación Coñor del Grupo Quilquiñán e infrayace igualmente a la Formación Celendín.



Foto Nro. 11: Fm. Cajamarca, aflorante en Quillimbash y Alpacochoa, Vista al oeste (W).

4.2.7. FORMACIÓN CELENDÍN

Son intercalaciones delgadas de margas, lutitas calcáreas y calizas de color gris a gris claro, hacia el tope es común hallar intercalaciones de lutitas y limolita. El grosor de la Formación es variable debido a la erosión sufrida antes de la depositación de la Formación Chonta.

PALEONTOLOGÍA – EDAD

Se presenta la zona de Buchiceras biloba asociado a cefalópodos como Barroiceras, Tissotia, Heterotissotia, Inoceramus, Plicatulopecte, Lima grenieri,

Ostrea nicaisei, *Roudarfa*, *Cardium*, *Pholadomya*; la zona de *Lenticeras baltai*, *Lenticeras lissoni*; Equinoideos, *Hamiaster fourneli*, *Geoniopygus*; marcan el Coniaciano y Santoniano.

Manmbolites, *Libycoceras*, *Menobites*, *Submorticeras*, *Pachydiscus*, marcan el Campaniano Inferior – Medio. *Ammobaculites coprolithiformis*, *Ostracodos*, *Haplophragmoides*. *H. Glabers* cine indicarían el Maestrichtiano inferior.

AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN

La fauna y la litología indican un mar poco profundo. El aumento de contenido clástico sugiere cercanía de algunas áreas a las zonas de aporte, asimismo al levantarse el sector occidental de la cuenca la parte superior de la Formación le correspondió un mar cerrado.

RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Sobreyace concordante a la Formación Cajamarca e infrayace en discordancia erosional a la formación Chonta.

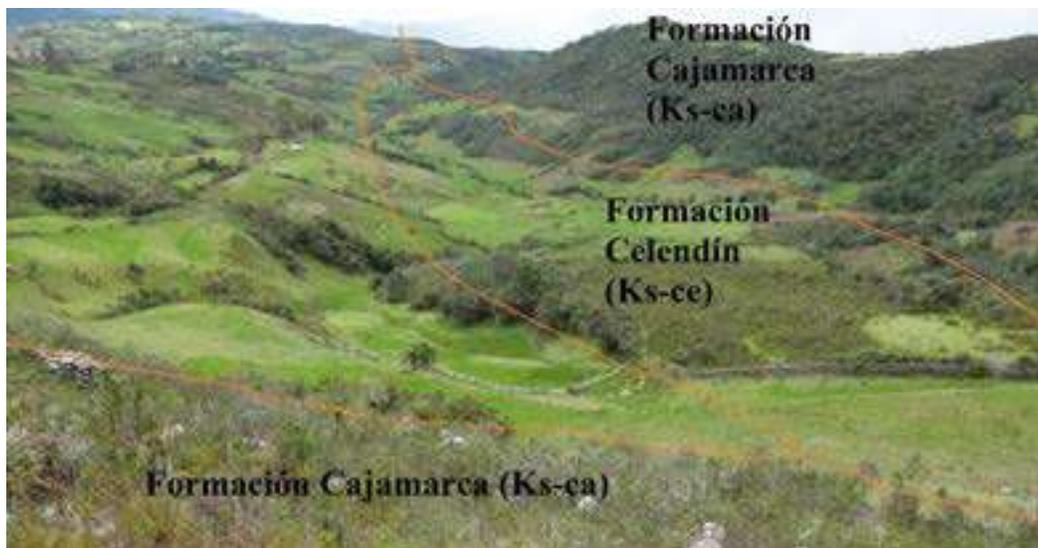


Foto Nro. 12: Formación Celendín, está aflorante solo en la microcuenca Uñigan, Vista al noreste (NE).

4.2.8. VOLCÁNICO HUAMBOS

Nombre dado por Wilson (inédito) a unos depósitos sub-horizontales de tobas andesíticas y traquíticas, de color blanco-amarillento que afloran la mayor área en la zona de estudio, cubriendo en discordancia angular a los sedimentos cretáceos. Su relación superior no es clara, pero existe una discordancia entre estos y los depósitos morrénicos y fluvioglaciares. Sus afloramientos se encuentran rellenando superficies antiguas, más o menos onduladas, mostrando una erosión de aspecto ruiforme. También contienen fragmentos líticos de volcánicos pre-existentes, plagioclasas fragmentadas; zonadas y macladas.

Ambas secuencias volcánicas también se aprecian en el corte de la carretera que baja a Celendín, notándose claramente englobamientos de rocas provenientes del Grupo Calipuy y sedimentos del Cretáceo.

AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN

La superficie sobre la cual se ha emplazado el Volcánico Huambos se considera oligo-miocénica, ya que posteriormente dichas tobas fueron afectadas por las glaciaciones pleistocénicas, en consecuencia, deben pertenecer al Mioplioceno.



Foto Nro. 13: Afloramiento del volcánico Huambos, tiene mayor área en la zona de estudio y se observan siete (07) manantiales.



Foto Nro. 14: Contacto litológico de la formación Cajamarca con el Volcánico Huambos, Vista al suroeste (SW).

4.2.9. DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Se encuentran sobreyaciendo a las secuencias Mesozoicas y Cenozoicas. Aparecen de manera dispersa y con espesores que oscilan entre varias decenas de metros, principalmente son de origen coluvial, aluvial, lacustre, presentándose en la zona estudio en las márgenes de Río Quillimbash.

4.2.10. DEPÓSITOS COLUVIALES

Se encuentran conformando pequeños abanicos, en los flancos de las principales quebradas, se componen de clastos carbonatados de diferentes diámetros, asociándose en algunos casos, materiales de débil flujo (huaycos).

4.2.11. DEPÓSITOS LAGUNARES

Los sedimentos lacustres involucran todos los materiales depositados casi horizontalmente en pequeñas cuencas ocupadas anteriormente por lagunas.

Son depósitos de sedimentos finos areno-arcilloso con mezclas de limos, arcillas y algo de gravas, con presencia importante de horizontes orgánicos, pero tienen mayor persistencia los sedimentos finos como limos y arcillas, estos depósitos se hallan en la zona de estudio principalmente en las lagunas presentes en la zona de estudio.

Síntesis estratigráfica del Cretáceo del norte del Perú, Datos bibliográficos: 1: Benavides, 1956; 2: Wilson, 1963; 3: Keneddy y Juignet, 1983; 4: Janjou, 1981; 5: Jaillard, 1987; 6: Mourier et. al. 1988; 7: Naeser et. al. en prensa.

Tabla Nro. 15: Síntesis estratigráfica del Cretáceo del norte del Perú

Crono Estratigrafía (Pisos)		Unidades Litoestratigráficas	Argumentos de Datación	Bibliografía	
Campaniano		Celendín		Manambolites sp, Libycoceras sp, Menabites sp, Submortonicerases sp, Pachydiscus sp.	6
Santoniano				Lenticeras baltai, Texanites sp, Desmophyllites gaudama, Tissotia sp.	1,2
Coniaciano				Buchiceras bilobatum, Barroisiceras sp, Heterotissotia sp, Tissotia sp.	1,2
Turoniano	Sup	Cajamarca		Coilopoceras newelli	1
	Med			Helvetotruncana praehelvetica, Pseudedomia drorimensis.	5
	Inf	Coñor	 	Mamites nodosoides, Collopoceras jenski, Pseudoaspidoceras sp, Vascoceras sp, Thomasitas sp, Inocerasmus tablatus.	1
Cenomaniano	Sup	Romirón		Neolobites vibrayeanus (= Kummell)	1,3
	Med			Acanthoceras chasca, Forbesiceras sp.	1
	Med	Mujarún	 	Acanthoceratidae, Exogyra africana, Exogyra cf. E. ponderosa.	1
	Inf	Yumagual		Mariella lewesensis  Nummoloculina heimi (4)	1-4
Albiano	Sup	Pariatambo		Engonoceras  . Ostrea scyphax.	1
	Med			Oxytropidoceras carbonarium, Vanezoliceras sp, Lyelliceras lyelli, Brancoceras sp, Dipoloceras sp	1,2
	Inf	Chulec		Lyelliceras lyelli, Knemiceras raimondii	2,2
	Med			Douvilleiceras monile, Protanisoceras blancheti.	
	Sup	Inca		Knemiceras ollonense Parahoplites nicholsoni, P. inti, P. quilla	1
Aptiano					

Fuente: Mayta R., (2011)

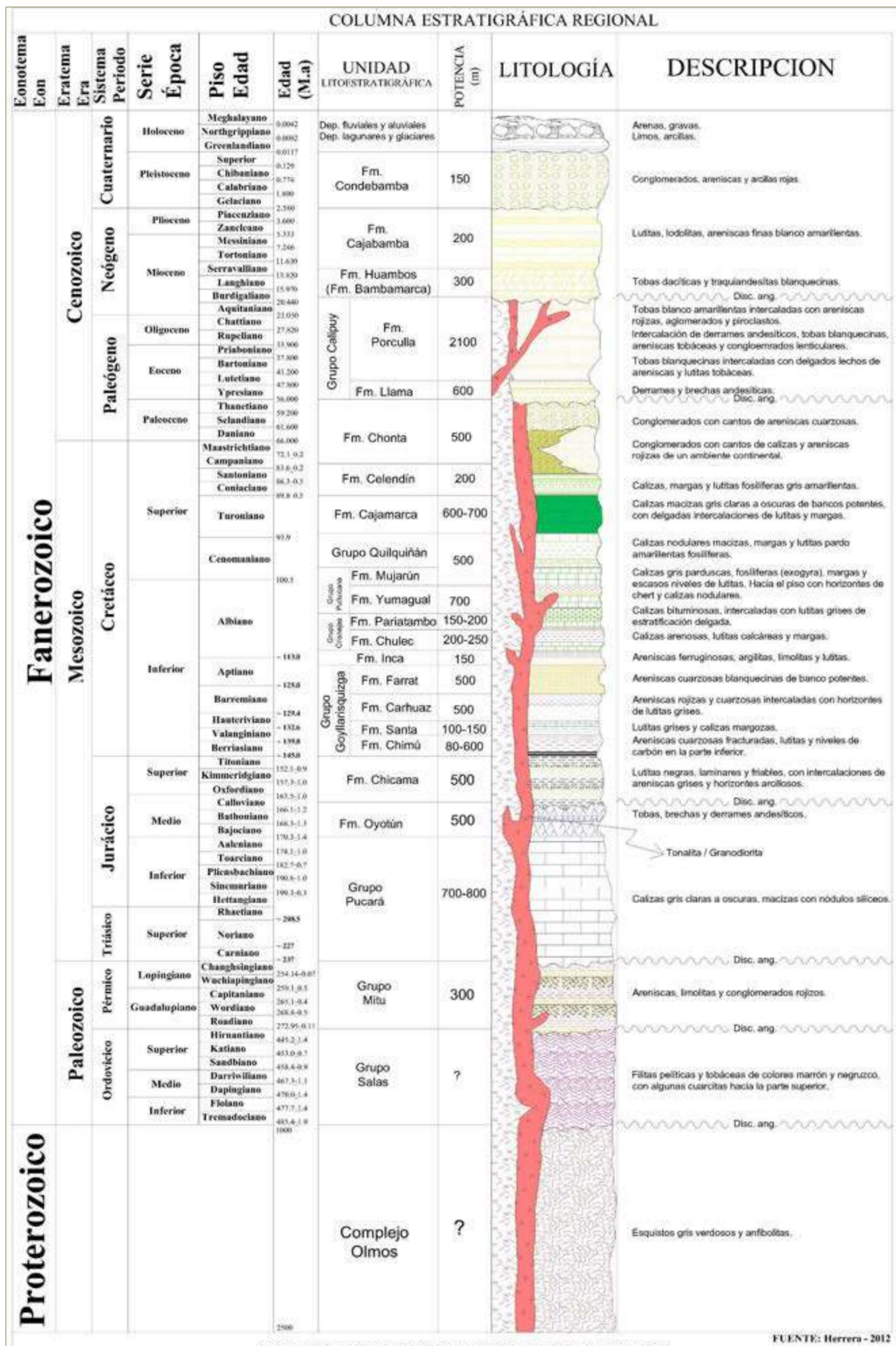


Figura Nro. 18: Columna estratigráfica regional.

4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los rasgos estructurales más importantes a escala regional son los sistemas de fallas que dividen a las unidades morfoestructurales, los ejes de pliegues que afectan a rocas que van del Mesozoico hasta el Mioceno tardío.

Las rocas sedimentarias presentes en toda el área de estudio presentan plegamiento cuyos ejes axiales tienen dirección NW-SE, encontrándose fallas de escurrimiento de rumbo NW.

Pliegues. - Los ejes de pliegue tienen preferentemente las direcciones NW-SE. Este estilo de deformación afecta a rocas que van del Mesozoico hasta el Mioceno tardío y representan uno de los estilos de deformación de las fases compresivas del ciclo Andino (Quispe, 2006).

En la zona de estudio hay 02 sinclinales, el primero está en Alpacochoa, teniendo a la Formación Cajamarca como centro, el segundo está en Los Pinos teniendo a la Formación Yumagual.

Falla Escurrimiento. - Las principales fallas regionales identificadas en la zona de estudio por Quispe (2006), León et.al. (2008); todas con trazas discontinuas y paralelas al rumbo andino; estas fallas son responsables de la descarga de acuíferos a través de manantiales. Falla Loma del Indio, Falla; son transversales a la dirección andina y son responsables de la conducción de agua subterránea a partir de las zonas de recarga hacia las zonas de descarga

En la zona de estudio hay falla de escurrimiento está en Loma del Indio, teniendo como contacto a las formaciones Yumagual (Pulluiacana) con la Formación Quilquiñán Mujrarún.

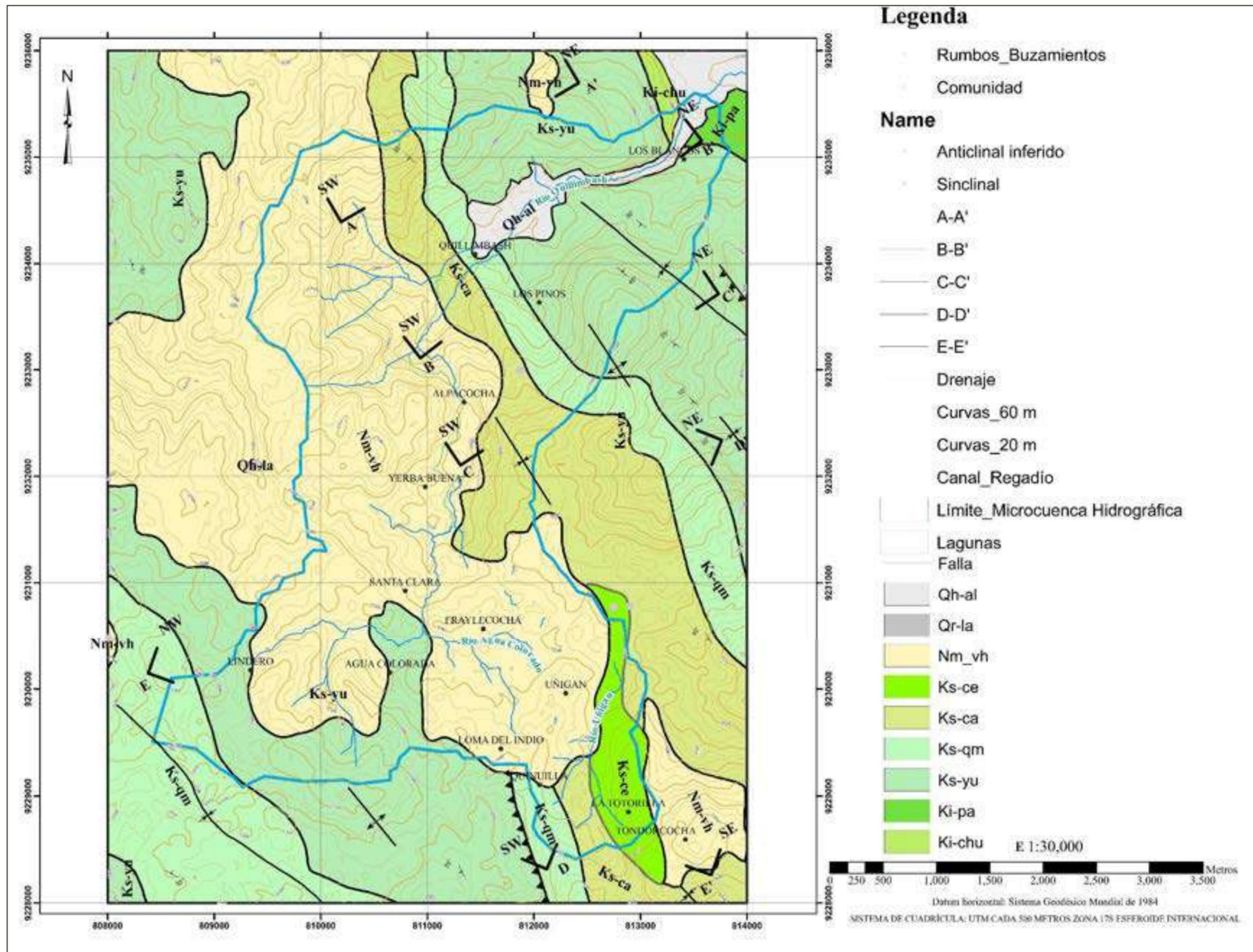


Figura Nro. 19: Ubicación de los cortes geológicos, Tomados del Plano Nro. 05: Geológico – Estructural.

4.4. GEOMORFOLOGÍA

4.4.1. UNIDADES MORFOLÓGICAS

En la zona de estudio la microcuenca hidrológica “Fraylecocha y Uñigan” se evaluó las principales geoformas y los procesos geomorfológicos predominantes. Describiendo colinas y lomadas en rocas volcánicas (RCL-rv), Montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias (RMCE-rs) son los que recargan de agua superficial al río Quillimbash; descargándose por un piedemonte aluvio-lacustre. (Ver Plano Nro. 08, p.87)

4.4.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Los índices morfométricos de la microcuenca tratan de establecer relaciones entre el comportamiento del régimen hidrológico y las características geomorfológicas. A continuación, los resultados y características de los parámetros geomorfológicos.

Tabla Nro. 16: Parámetros Geomorfológicos

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS		DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
SUPERFICIE DE LA MICROCUENCA (parámetros que dimensionan la Microcuenca hidrográfica)	Área total	Área de drenaje del agua colorada y Quillimbash y todos sus afluentes	A = 21.12 Km ²
	Área de la cuenca de recepción	Área de drenaje del agua colorada y Quillimbash y todos sus afluentes	A = 2.2 Km ²
	Área de la cuenca húmeda	Superficie donde la precipitación media anual está por encima de 100 mm	Ah = 7. 4 Km ²
	Perímetro	Longitud de los contornos de la microcuenca hidrológica Fraylecocha-Uñigan y tiene influencia en la forma y tiempo de concentración en la misma.	P = 25.74 Km
FORMA DE LA MICROCUENCA (parámetros que dimensionan las descargas de agua a	Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad	El resultado es mayor que la unidad, por lo tanto, la forma de la cuenca es alargada. La forma alargada, reduce las probabilidades de que la cuenca sea cubierta en su totalidad.	Ic = 1.58

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS		DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
lo largo del río agua colorada de la Microcuenca hidrográfica)	Factor de forma	Aplicando la Fórmula Nro. 14 relaciona el ancho promedio de la microcuenca y la longitud axial de recorrido. Es de forma alargada por ser menor a la unidad.	Ff = 0.70
SISTEMA DE DRENAJE (Se refiere a las trayectorias o recolección del agua de las corrientes naturales dentro de la Microcuenca hidrográfica)	Orden de la corriente de agua	Este parámetro proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Así el orden del cauce principal de los ríos Uñigan, Agua Colorada y Quillimbash.	Oc = 4
	Longitud de los tributarios	Indicador de la pendiente de la cuenca y el grado de drenaje.	Lt = 26.02 Km
	Densidad de drenaje	Relación entre la longitud total de cursos de agua de la Microcuenca y su área total. Tiene una densidad media (1.9 a 3.6)	Dd = 1.23 Km/Km ²
	Longitud media de la escorrentía superficial	Indica la distancia media en línea recta, que el agua de precipitación tendrá que escurrir para llegar al lecho de un curso de agua.	L = 10.78 Km
	Sinuosidad del cauce principal.	El resultado obtenido indica que la sinuosidad del cauce principal es moderada, ya que el valor de sinuosidad es menor a 1.25 definiendo un cauce de baja sinuosidad.	S = 1.10
CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE (Representa la declividad de la Microcuenca hidrográfica, donde la variación de los terrenos se considera con referencia al nivel del mar)	Pendiente de la cuenca	Es un valor medio de todas las pendientes, es importante para el estudio de escorrentía superficial, infiltración, arrastre de material y recarga de acuíferos.	Sc = 17.09 %
	Curva hipsométrica	La concavidad hacia debajo de la curva indica fuertes pendientes en el origen, indicando que hay peligros de inundación; en la parte media a baja tenemos una tendencia suave.	Ver Figura Nro. 20.
	Curva de frecuencia de altitudes	Es un complemento de la curva hipsométrica.	Ver Figura Nro. 20

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS		DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
	Elevación media de la cuenca (Altitud media)	Valor medio de la curva hipsométrica.	H = 3141 msnm
	Pendiente del curso principal	Es la pendiente de un canal transversal uniforme de longitud 3.21 Km, que une Alpacochoa con Quillimbash.	Lmr = 9 %
	Coefficiente de masividad	Expresa la relación entre la altitud media de la microcuenca y el área total de la misma. En zonas de pie de monte es bajo que en los terrenos abruptos.	Cm = 0.51 m/Km ²

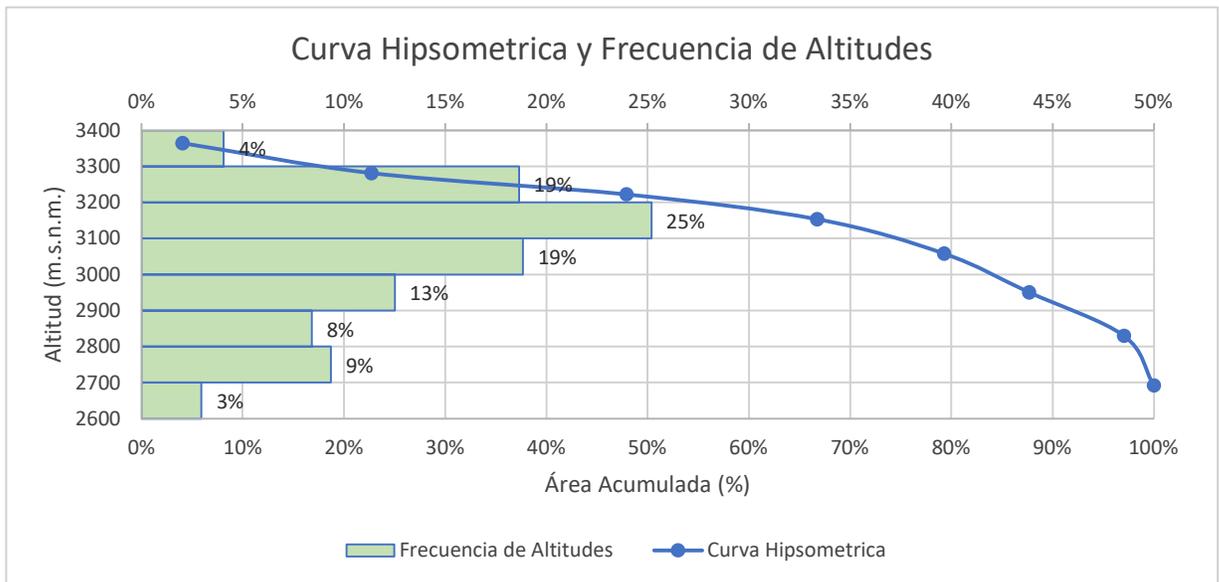


Figura Nro. 20: Curva hipsométrica de la microcuenca hidrográfica del río agua colorada.

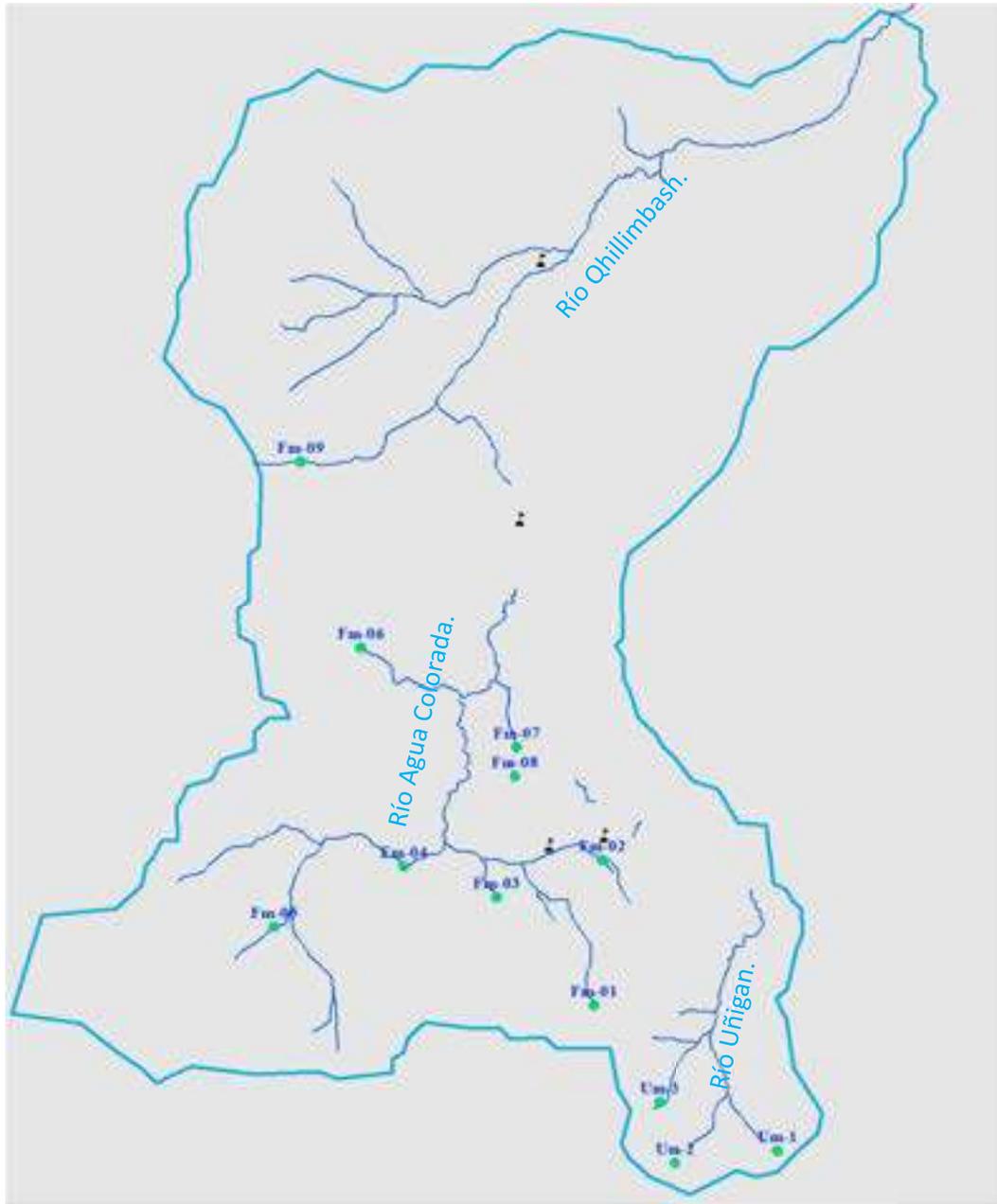


Figura Nro. 21: Sistema de drenaje de la Microcuenca hidrográfica.

4.5. HIDROLOGÍA

En este apartado, se estudia los elementos principales del ciclo hidrológico, con el objetivo de establecer el balance hidrogeológico preliminar del área de drenaje de la microcuenca hidrológica “Fraylecocha y Uñigan” perteneciente a la intercuenca alto marañón IV, en la vertiente Región Hidrográfica del Amazonas.

4.5.1. RÍOS

El Río Uñigan tiene una longitud aprox. de 1.8 Km, desembocando en un sumidero agua abajo. El Río Agua Colorada tiene una longitud aprox. de 3.40 Km, desembocando en dos ramales por la derecha un canal de regadío y en un sumidero. El Río Quillimbash tiene una longitud aprox. 5.50 Km desembocando en el Río Cantange.

4.5.2. QUEBRADAS

Se tiene un drenaje paralelo en la microcuenca hidrográfica Uñigan y un drenaje dendrítico en la Microcuenca Fraylecocha. Teniendo quebradas secas en tiempo de invierno (época seca).

4.5.3. PRECIPITACIÓN

La precipitación es variable según las estaciones del año. En tiempo de invierno oscila entre 60 a 100 mm y en verano de 292 a 425 mm.

4.5.4. INFILTRACIÓN

Solo una parte del agua que precipita sobre la superficie del suelo, luego escurre superficialmente, el resto se infiltra en el subsuelo o retorna a la atmosfera por evapotranspiración, constituyendo las denominadas pérdidas o abstracciones. En ambas microcuencas hidrográficas la infiltración es por acuíferos kársticos.

4.5.5. BALANCE HIDROLÓGICO

Para cuantificar la disponibilidad total del agua superficial que ingresa y sale de la microcuenca, se estableció el balance hidrológico de la cuenca receptora o área de drenaje en la estación de aforo (La Artesa). Aplicando Fórmula Nro. 1, Ingreso (alimentación o recarga en todas sus formas) – Egreso (descarga en todas sus formas) = Variación de reservas, Fórmula Nro. 2, P (precipitación media anual) – ETR (evapotranspiración real media anual) – ES (escurrimiento superficial media

anual) – I (infiltración media anual) = Variación del almacenamiento hídrico (\geq a 10 años). Los resultados de las variables que componen el balance hidrológico se muestran en la Tabla Nro. 17 y Figura Nro. 22.

Tabla Nro. 17: Balance hidrológico de la microcuenca

BALANCE HIDRÓGEOLOGICO PROMEDIO ANUAL	
(Microcuenca receptora – Área drenaje del Río Agua Colorada y Río Uñigan)	
Microcuenca hidrográfica de Ingreso	MMC/Año
• Precipitación total (P)	214.5
• Evapotranspiración real (ETR)	80.5
• Escurrimiento superficial (ES)	40
• Infiltración (I)	20
Resultado del balance	74

Fuente: Baquero, 2007, datos de senamhi 2016-2021.

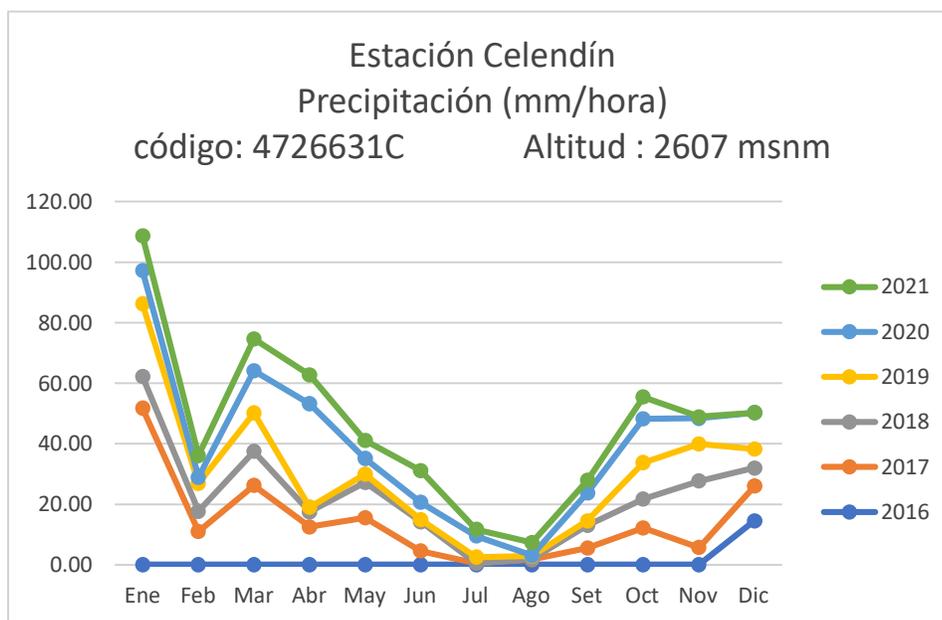


Figura Nro. 22: Gráfico de las precipitaciones anuales de 6 años de Estación Celendín.

4.6. HIDROGEOLOGÍA

En este apartado se presentan los resultados del trabajo realizado con la finalidad de obtener el mapa conceptual hidrogeológico de la microcuenca Fraylecocha en base al inventario de fuentes de agua y la determinación de parámetros hidrogeológicos.

4.6.1. INVENTARIOS DE MANANTIALES

En la microcuenca Fraylecocha se registraron un tipo de fuentes de agua subterránea (fuentes naturales). Se ha clasificado a las fuentes naturales a los manantiales cuya surgencia natural tiene un control litológico y/o estructural. (Foto Nro. 15).



Foto Nro. 15: Izquierda: Fuente natural de agua subterránea; Derecha: Fuente artificial de manantial (captación).

El inventario realizado registró un total de 16 fuentes de agua, distribuidos de la siguiente manera: 14 manantiales, 2 puntos de control de agua superficial.

Tabla Nro. 18: Número de fuentes de agua inventariada por subcuenca

SUBCUENCA	TIPO DE FUENTE	NÚMERO DE FUENTES INVENTARIADAS
UÑIGAN	Subterráneo	3

SUBCUENCA	TIPO DE FUENTE	NÚMERO DE FUENTES INVENTARIADAS
FRAYLECOCHA	Subterráneo	9
ALPACOCHA	Superficial	1
QUILLIMBASH	Subterráneo	1
QUILLIMBASH	Superficial	1
TOTAL		16

Clave Para Identificar las Fuentes Inventariadas

Para la identificación de las fuentes inventariadas se ha empleado un código que está compuesto por tres partes: La primera parte, escrita con letras mayúsculas indica la subcuenca a la que pertenece el punto inventariado; La segunda parte hace referencia al tipo de fuente y se escribe con letras minúsculas (“m” para manantiales, “s” para agua superficial y “p” para pozos); La tercera parte localizada después del guion y constituida por números, se asigna a la fuente inventariada de acuerdo a un orden correctivo de norte a sur para cada subcuenca (Tabla Nro. 19)

Tabla Nro. 19: Inventario de fuentes de agua de la microcuenca

Subcuenca	Tipo	CÓDIGO	NOMBRE	Parámetros Físicoquímicos e Hidráulicos			Fecha de Inventario	Uso
				Q (l/s)	T (°)	pH		
Uñigan	ASUB	Um-1	Manantial 1 en C.P. La Totorilla.	8.00	19.00	7.20	12/10/2019	AD
Uñigan	ASUB	Um-2	Manantial 2 en C.P. La Totorilla	4.00	19.20	7.10	12/10/2019	AD
Uñigan	ASUB	Um-3	Manantial en C.P. Quinuilla.	4.00	19.50	7.00	12/10/2019	D
Fraylecocha	ASUB	Fm-01	Manantial en C.P. Loma del Indio	5.00	19.80	7.00	12/10/2019	D
Fraylecocha	ASUB	Fm-02	Manantial en C.P. Fraylecocha	8.00	20.40	7.30	12/10/2019	AD
Fraylecocha	ASUB	Fm-03	Manantial 1 en C.P. Agua Colorada	4.00	19.90	7.00	20/08/2018	AD
Fraylecocha	ASUB	Fm-04	Manantial 2 en C.P. Agua Colorada	3.50	20.10	7.20	20/08/2019	AD
Fraylecocha	ASUB	Fm-05	Manantial 3 en C.P. Agua Colorada	4.00	20.10	7.30	20/08/2019	AD

Subcuenca	Tipo	CÓDIGO	NOMBRE	Parámetros Físicoquímicos e Hidráulicos			Fecha de Inventario	Uso
				Q (l/s)	T (°)	pH		
Fraylecocha	ASUB	Fm-06	Manantial 1 en C.P. Alpacochoa	3.00	20.50	7.20	15/08/2015	AD
Fraylecocha	ASUB	Fm-07	Manantial 2 en C.P. Alpacochoa	2.50	18.90	7.30	15/08/2015	AD
Fraylecocha	ASUB	Fm-08	Manantial 3 en C.P. Alpacochoa	7.00	19.50	7.00	15/08/2015	D
Quillimbash	ASUB	Fm-09	Manantial 1 en C.P. Quillimbash	2.00	20.00	7.50	19/05/2019	AD

TIPO: AS = Agua Superficial, **USO:** A = Agrícola, D = Doméstica, AD = Agrícola y Doméstico y SU = Sin uso

4.6.2. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Los parámetros hidrogeológicos fundamentales usados para elaborar el mapa hidrogeológico de las microcuencas han sido la porosidad y la permeabilidad. No se han considerado otros parámetros hidrogeológicos, debido a la poca importancia que adquieren cuando se trata de investigaciones locales, como es el caso del presente trabajo.

4.7. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

4.7.1. AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS ROCAS ÍGNEAS – VOLCÁNICAS

Dentro del grupo de las rocas volcánicas, existen materiales de propiedades hidrogeológicas muy diferentes. Algunos acuíferos en terrenos basálticos recientes poseen una de las más altas transmisibilidades conocidas en todo tipo de terrenos, lo que contrasta con el caso de las tobas volcánicas que, aunque generalmente poseen porosidades muy elevadas, tienen permeabilidades muy bajas, y con los diques volcánicos, en los que tanto la porosidad como la permeabilidad son muy bajas.

Aunque las transmisibilidades de algunas tobas y andesitas suelen ser muy elevadas, puede ocurrir que la explotación del agua subterránea de sus acuíferos presente grandes dificultades. Esto se debe al hecho de que el agua subterránea,

al fluir libremente a los puntos de descarga natural – constituidos por los cauces de los ríos, puede encontrarse en muchos casos a profundidades demasiado elevadas, o incluso puede llegar a no existir siquiera una zona permanente de saturación. Por ello el interés del hidrogeólogo en este tipo de terreno puede estar dirigido a la localización de niveles y estructuras permeables que implican la salida rápida del agua infiltrada en el terreno y que contribuyan al a elevar la posición de los niveles freáticos.

4.7.2. AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

En esta área de estudio de prospección de las aguas subterráneas se empezó por el reconocimiento de los terrenos no consolidados. Esta preferencia está fundada en una serie de razones básicas.

La primera es que estos terrenos se perforan y excavan con mayor facilidad, por lo que su exploración mecánica suele ser rápida y poco costosa.

La segunda es que estos terrenos, por lo general rellenan el fondo de los valles, donde los niveles freáticos suelen estar muy próximos a la superficie y donde, en consecuencia, las alturas de elevación mediante bombeo serian mínimas.

La tercera es que estos terrenos se encuentran en una posición hidrogeológica altamente favorable para su recarga natural a partir de lagos, quebradas y ríos.

La cuarta es que poseen un coeficiente de almacenamiento superior al de los restantes materiales geológicos y finalmente la quinta- quizás la más importante es que sus permeabilidades son muchos más elevadas que las de los restantes terrenos, si se exceptúan algunas rocas volcánicas recientes y algunas calizas carstificadas.

Basándose en su origen los depósitos no consolidados pueden ser subdivididos en un gran número de clases; entre ellas citaremos, como los más importantes;

Los aluviones	Las arenas de duna
Los tills	Las arenas y fangos de playa
Los depósitos glaciares	Los depósitos coluviales
Los loess	Los fangos y arenas lacustres

Fuente: Hidrogeología. Exploraciones Hidrogeológicas; S.n DAVIS, (1971)

Los suelos residuales, aunque no pueden ser clasificados como depósitos sedimentarios en el sentido más usual del término, poseen muchas características hidrogeológicas comunes como los aluviones y coluviones.

4.8. CARACTERIZACION DEL MEDIO HIDRAULICO

4.8.1. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

El funcionamiento hidrogeológico de esta subcuenca, considerada como parte un todo, consiste esencialmente en un acuífero único con unas zonas de recarga predominante en la cabecera y con un flujo radial que descarga a los ríos y luego al mar. En el transcurso, el agua encuentra materiales que favorecen su circulación o su almacenamiento y la disposición de estos materiales en profundidad, junto con sus características hidráulicas relativas es lo que define a los sistemas acuíferos locales dentro de este sistema.

De esta forma, la naturaleza y disposición espacial de las formaciones presentes en el subsuelo condicionan de forma fundamental de flujo del agua, así como su relación hidráulica. A continuación, se explica el comportamiento hidrogeológico que presentan las unidades implicadas en el área de estudio partiendo de las observaciones relacionadas en las visitas habituales a campo, de la observación de datos hidrogeológicos de superficies realizadas en la campaña cartográfica y de la interpretación de la información oral ofrecida por los habitantes de la zona.

Como se ha descrito en el capítulo de estratigrafía, esta unidad está formada por depósitos de fondo de valle principalmente. En las observaciones efectuadas en superficie, se observan aglomerados y conglomerados muy heterométricos con fragmentos de composición muy variada que puede ser andesíticas o traquítica. La matriz más abundante entre los fragmentos es de naturaleza arenolimososa y la proporción es variable hasta el punto de llegar a estar ausente entre los clastos.

Todas estas características confieren a esta unidad una permeabilidad alta. A su vez, la heterogeneidad del depósito es la causante de la posible existencia de niveles colgados dentro de la zona saturada.

Así pues, estos conglomerados representan una unidad muy heterogénea pero que en general tiene una permeabilidad más alta, en relación con la unidad subyacente.

4.8.2. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL MEDIO

La visión global del sistema revela la presencia de dos unidades hidrogeológicas: materiales aluviales en superficie, y los materiales de tobas subyacentes con una permeabilidad mucho menor. El acuífero se puede considerar como un sistema acuífero libre compuesto por estas dos unidades hidrogeológicas que están conectadas hidráulicamente mediante las superficies de contacto que hay entre ambas.

A grandes rasgos, se puede hablar con un único acuífero libre compuesto por dos unidades hidrogeológicas que están conectadas hidráulicamente. La unidad de materia sedimentarias tiene el comportamiento de un medio granular con una permeabilidad mayor que la unidad de tobas volcánicas subyacente, la cual se comporta como un medio volcánico fracturado.

4.9. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se analizan los resultados de la investigación con la finalidad de caracterizar el medio de circulación del agua superficial y subterránea en toda la Microcuenca Hidrográficas. Los resultados de la investigación se presentan en el siguiente orden: Geología, para conocer el tipo de formaciones geológicas que atraviesa el agua en su recorrido superficial y subterráneo; Geomorfología, para conocer la influencia de la configuración actual de la cuenca con respecto al flujo del agua; Hidrología, para cuantificar la disponibilidad total del agua superficial que ingresa y sale de la Cuenca por factores hidrológicos; Hidrogeología, para ubicar los potenciales acuíferos en toda la Microcuenca Hidrográfica, cuantificar los ingresos y salidas de agua subterránea de los principales acuíferos, para complementar el conocimiento sobre la geometría de los acuíferos porosos no consolidados, aguas debajo de la microcuenca.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se caracterizó el comportamiento hidrogeológico en rocas carbonatadas que afloran en la Microcuenca hidrográfica del Río Agua Colorada, en una superficie de 58.64%, en las principales formaciones geológicas de Cajamarca y los grupos Pulluicana y Quilquiñan del cretáceo superior, en su mayoría han sufrido proceso de karstificación debido a que existen rocas favorables (Calizas puras).
- Se describió unidades geomorfológicas en cabecera de microcuenca como colinas y lomadas en rocas volcánicas y montañas, colinas estructurales en rocas sedimentarias; en las zonas de recepción o aguas abajo se tiene unidades como piedemonte aluvio lacustre.
- Se logró describir una hidrología o red de drenaje de tipo dendrítico en la Microcuenca Fraylecocha y paralelo en la Microcuenca Uñigan por la topografía, litología y geomorfología que presenta.
- Se identificó que en cabecera de microcuenca se tiene una pendiente de 0° a 15° grados y las zonas de recarga hídrica, con pendientes de 15° a 45° grados mayormente en laderas de las colinas (Vilchez, 2013).
- Se identificó pliegues (sinclinales y anticlinales) con orientación SE-NW y fallas de escurrimiento, en estos alineamientos se presentó la surgencia de agua subterránea y tres sumideros (en Uñigan, Fraylecocha y Alpacocho) en la Microcuenca hidrográfica.
- Se identificó 12 surgencias de agua subterránea (manantiales), en los cuales ocho (09) pertenecen a roca volcánica de la formación Huambos con pH 7 a 7.5, mientras que dos (02) en el grupo Pulluicana en rocas calizas con pH de 7.20 a 8.00 y un (01) manantial en la formación Celendín con pH 7.20; están son originadas por falla de escurrimiento.
- Se elaboró planos temáticos a escala 1/25 000: Plano de ubicación y acceso, topográfico, geológico, Microcuenca hidrográfica Río Agua Colorada, geomorfológico e hidrogeológico.

- Se elaboró 5 secciones geológicas e hidrogeológicas en las que se interpretó el comportamiento geológico e hidrogeológico de la Microcuenca hidrográfica Río Agua Colorada.
- Se determinó una recarga media de agua 40 l/s en tiempos de precipitación; en verano una descarga hídrica de 4 l/s en la comunidad de Huañambra, esto se pudo determinar mediante aforos, por lo tanto, la Microcuenca hidrográfica Río Agua Colorada se presenta como agua estacional.
- De acuerdo con el cartografiado geológico e hidrogeológico se identificó dos (2) tipos de acuíferos, uno (01) acuífero kárstico, en las formaciones Yumagual, Quilquiñán y Mujarún, Cajamarca, Celendín en rocas calizas y acuífero fisurado volcánico en la formación Huambos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis físico – químico del agua de todos los manantiales a la institución del ANA, también al teniente alcalde Sr. Luis Primitivo en asamblea con los propietarios y/o comuneros de Fraylecocha y Alpacocho para determinar el tipo de agua entre otros.
- Se recomienda estudios Geofísicos como Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y Tomografía Eléctrica, para definir mejor los límites de los acuíferos y así se podría determinar la profundidad y forma de los acuíferos para hidrogeólogos o carreras afines.
- Recomendamos ejecutar investigaciones hidrogeológicas en los tres sumideros (Uñigan, Fraylecocha y Alpacocho) con trazadores para determinar la conectividad hidráulica del agua subterránea.
- Se recomienda ejecutar investigaciones geotécnicas con finalidad de inyecciones de lechada de cemento en los sumideros para represar agua (impermeabilizando y consolidando las entradas de los sumideros).

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

López Becerra, M. E., 2014. “Estudio hidrogeológico de la Microcuenca San Cirilo”. Tesis Profesional para optar título profesional de Ingeniero Geólogo. Cajamarca – Perú, 107 p.

González de Vallejo, Luis I., 2002, “capitulo v - hidrogeología”, Ingeniería Geológica, España, Pág. 264 – 302.

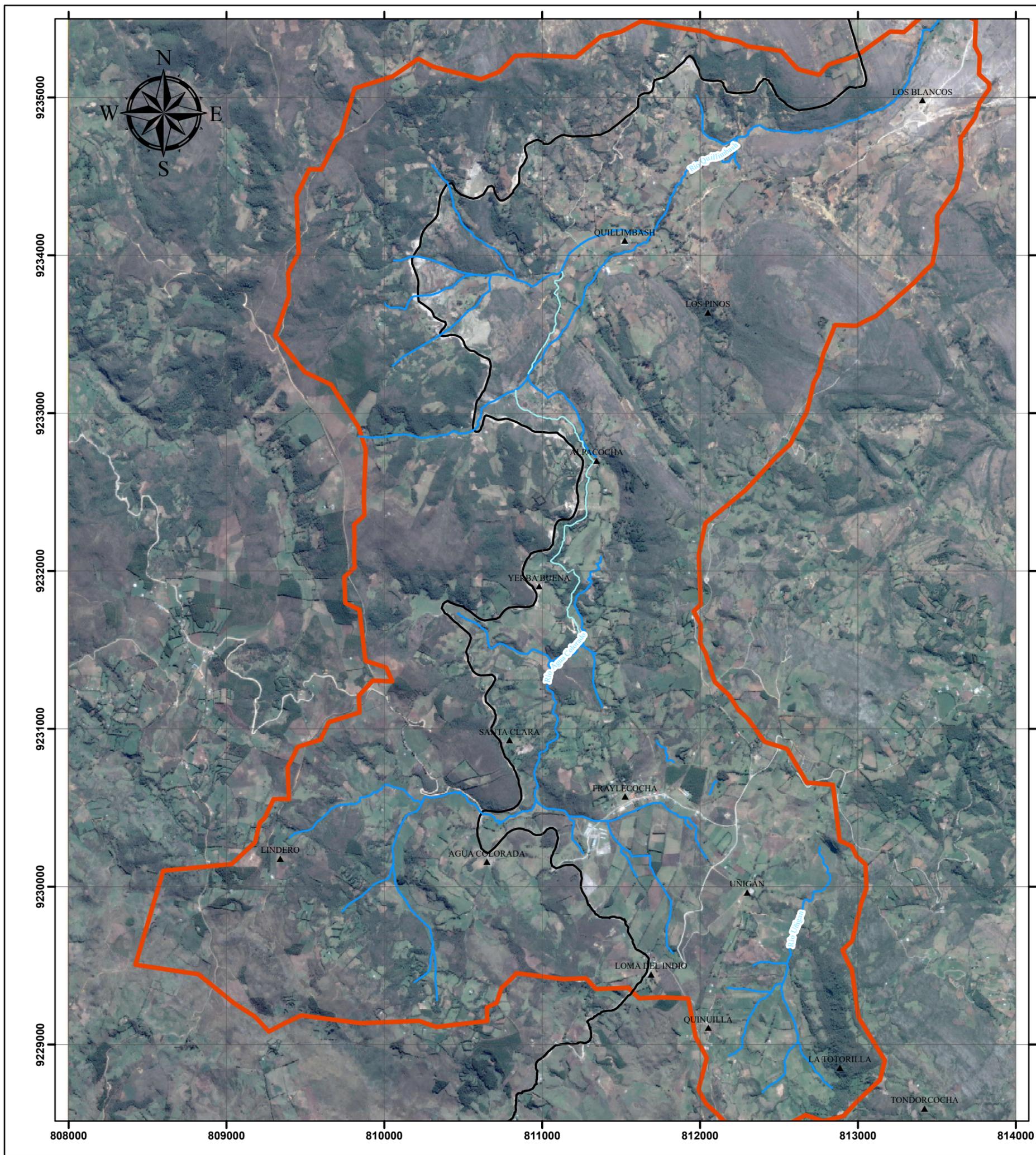
Wilson, J., 1984. “Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén, hojas 13d, 13e, 13f, 14d, 14e, 14f, 14g, 15d, 15e. INGEMMET. Sector de Energía y Minas. Boletín N° 38, Serie A. Lima – Perú.

Sánchez Díaz, M. A., 2012. “Estudio hidrogeológico de la cuenca Hidrográfica del Río Ica”. Tesis Profesional para optar título profesional de Ingeniero Geólogo. Cajamarca – Perú, 166 p.

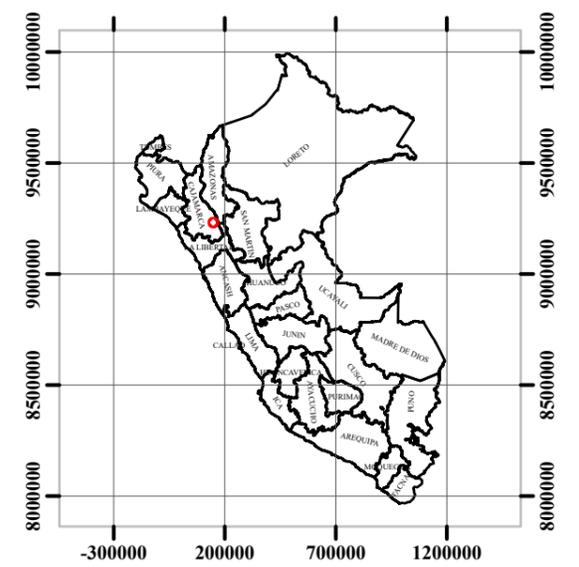
Mendoza Huatay, A., 2013. “Estudio Geológico e hidrogeológico y aplicación del SEV para la determinación de acuíferos en el centro poblado la ramada – Subcuenca Porcón”. Tesis Profesional para optar título profesional de Ingeniero Geólogo. Cajamarca – Perú, 75 p.

Mayta Rodas, R. S., 2011. “Caracterización Geológica de los Karst en rocas Carbonatas (Cajamarca – Encañada)”. Tesis Profesional para optar Título de Ingeniero Geólogo. Cajamarca – Perú, 112 p.

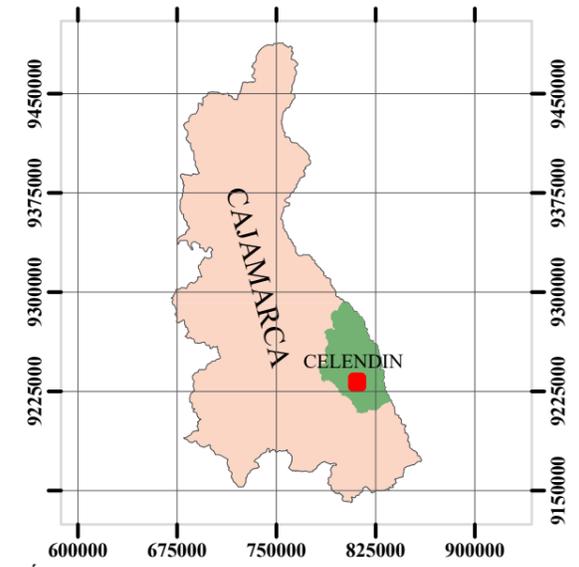
ANEXOS



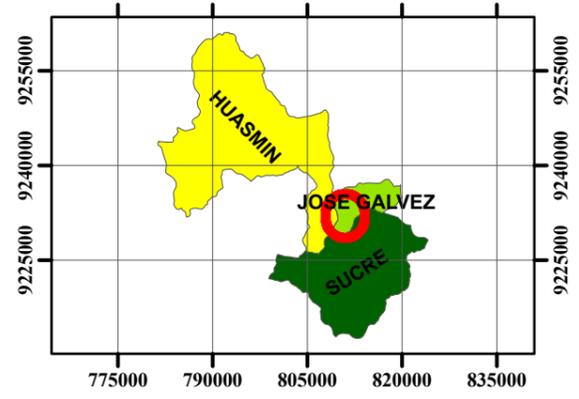
UBICACIÓN DEPARTAMENTAL DE CAJAMARCA



UBICACIÓN PROVINCIAL DE CELENDÍN

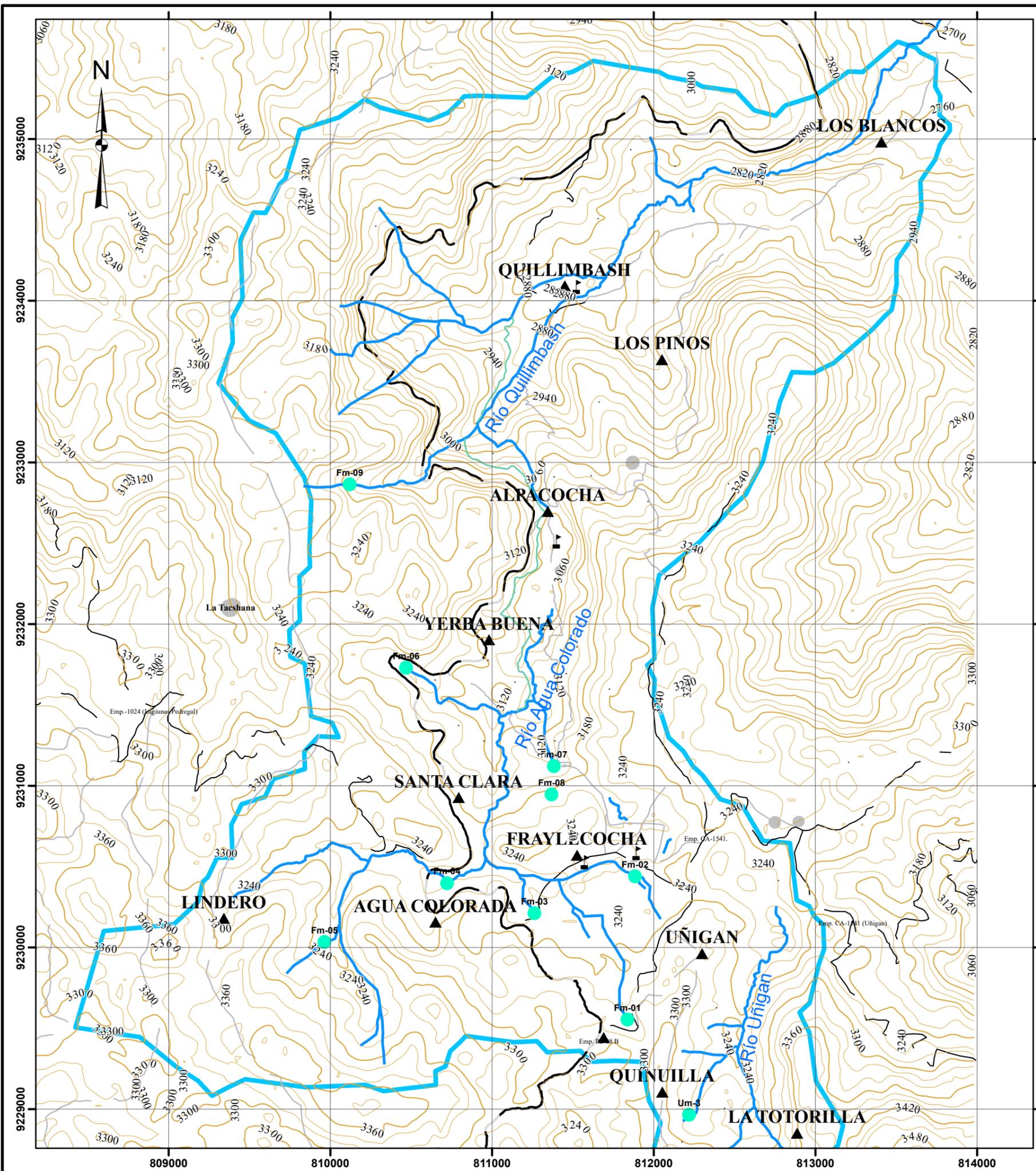


UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO EN DISTRITOS DE CELENDÍN



Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984
 SISTEMA DE CUADRÍCULA: UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		PLANO N°: <h1>01</h1>
	TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Plano de Ubicación y Acceso		
	ELABORADO: BACH. Odilfo GOICOECHA CHÁVEZ	ASESOR: Dr. Ing. ZENÓN C. MAMANI QUISPE	UBICACIÓN: DIST: JOSE GALVEZ PROV: CELENDÍN DEP: CAJAMARCA
ESCALA: 1/25 000 DATUM: WGS - 84	FECHA: 02 / 08 / 2024		



Legenda Simbología

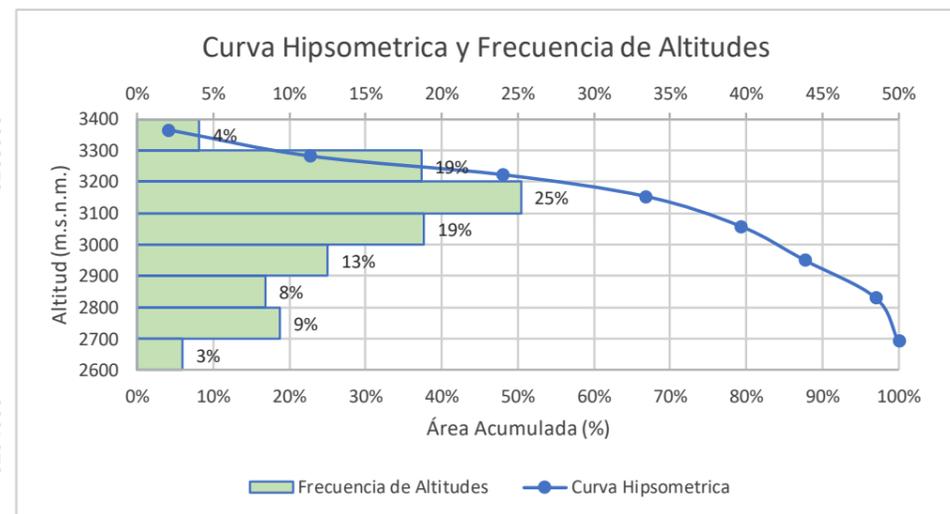
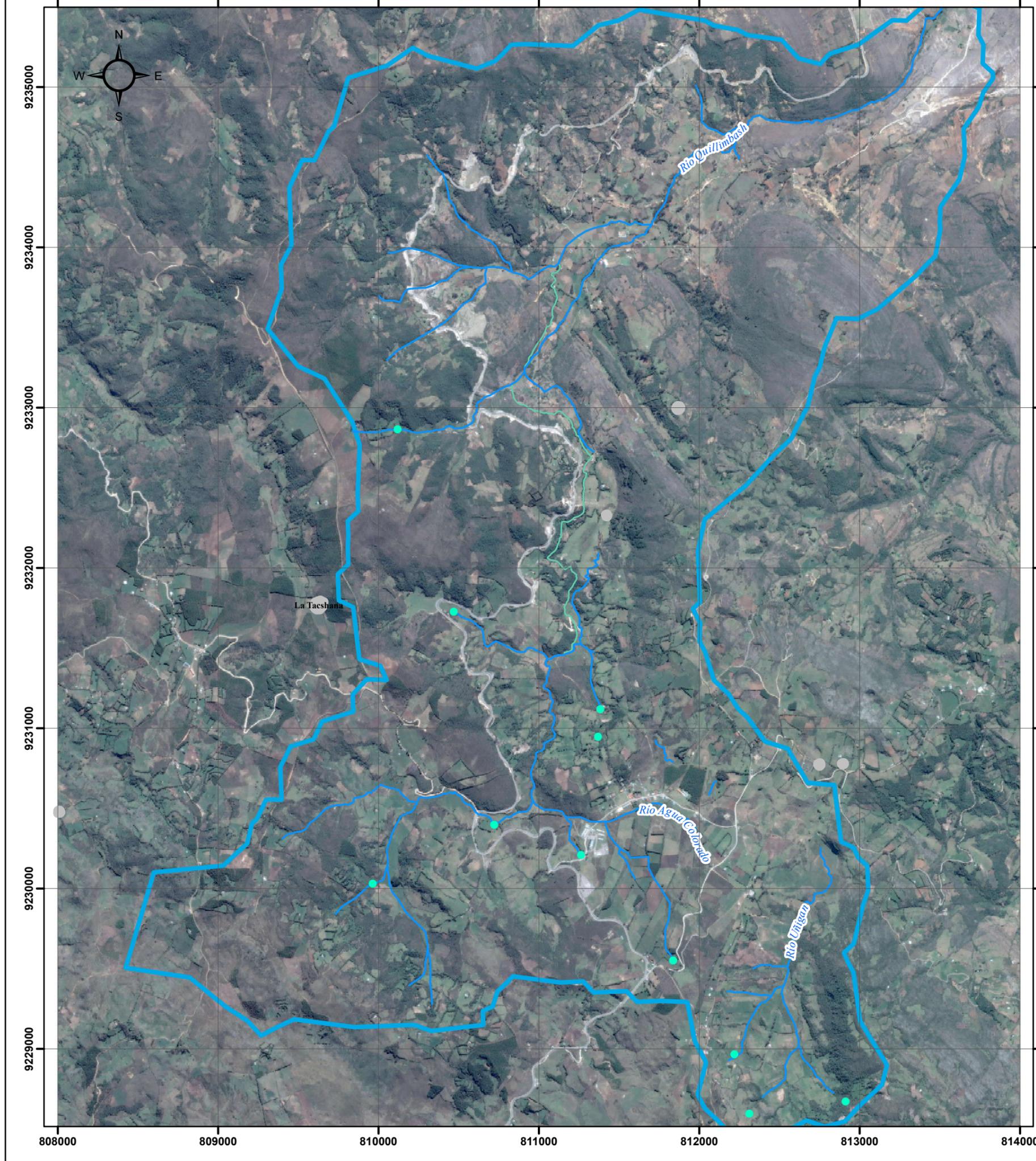
- Manantial
- Centro Educativo
- Comunidad
- Casa Aislada
- Canal_Regadío
- Drenaje
- Curvas_60_m
- Curvas_20_m
- Intersercción_Vial
- Red Vial Nacional
- Carretera_Afirmada
- Camino_herradura
- Lagunas
- Microcuenca hidrográfrica

N

0 550 1,100 2,200 3,300 Metros

Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984
SISTEMA DE CUADRÍCULA: UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		02
	TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Modelos Digitales de Elevación [MDE] - Topográfico		
	ELABORADO: BACH. Odilfo GOICOECHA CHÁVEZ		
ASESOR: Dr. Ing. ZENÓN C. MAMANI QUISPE	ESCALA: 1/25 000	FECHA: 02 / 08 / 2024	UBICACIÓN: DIST: JOSÉ GALVEZ PROV: CELENDÍN DEP: CAJAMARCA



Parámetros Morfométricos

Descripción	Unidades	Valor
Área de Microcuenca Hidrográfica	Km ²	21.12
Perímetro de Microcuenca Hidrográfica	Km	25.74
Cota Máxima	m.s.n.m.	3409.60
Cota Mínima	m.s.n.m.	2711.09
Altitud Media	m.s.n.m.	3141.21
Altitud más Frecuente	m.s.n.m.	3251.10
Altitud de Frecuencia Media	m.s.n.m.	3194.55
Pendiente Promedio de Microcuenca Hidrográfica	%	17.09
Orden de la red hídrica	und	4.00
Longitud de cauce principal	Km	8.92
Longitud de la red hídrica	Km	3.43
Longitud de canal de regadío	Km	3.21

Simbología

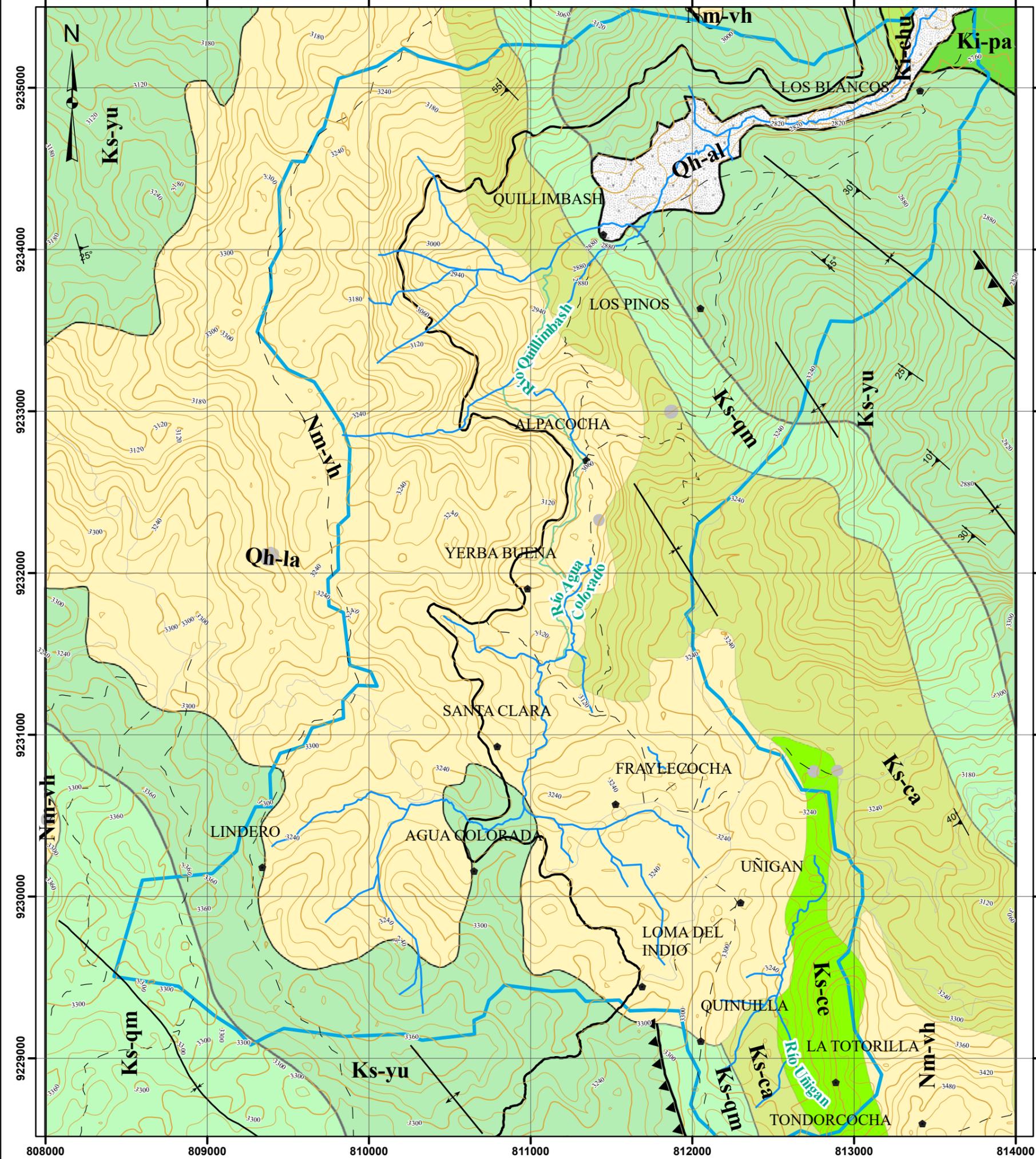
- Manantial
- Drenaje
- Canal_Regadío
- Límite_Microcuenca Hidrográfica
- Lagunas

0 500 1,000 2,000 3,000 Metros

Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984

SISTEMA DE CUADRÍCULA: UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		PLANO N°: 03
	TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICO DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Imagen Satelital y La Microcuenca Hidrográfica		
	ELABORADO: BACH. Odilfo GOICOECHEA CHÁVEZ	UBICACIÓN DIST: JOSÉ GALVEZ PROV: CELENDÍN DEP: CAJAMARCA	
ASESOR: Dr. Ing. ZENÓN C. MAMANI QUISPE	ESCALA: 1/25 000 DATUM: WGS - 84_17S	FECHA: 02 / 08 / 2024	



Legenda Simbología

Rumbos_Buzamientos

Comunidad

Name SIMBOLOGÍA

Anticlinal inferido

Sinclinal

Drenaje

Curvas_60 m

Curvas_20 m

Canal_Regadío

Red Vial Nacional

Carretera_Afirmada

Camino_herradura

Límite_Microcuenca Hidrográfica

Lagunas

Símbolos

Falla

Qh-al

Qh_la

Nm_vh

Ks-ce

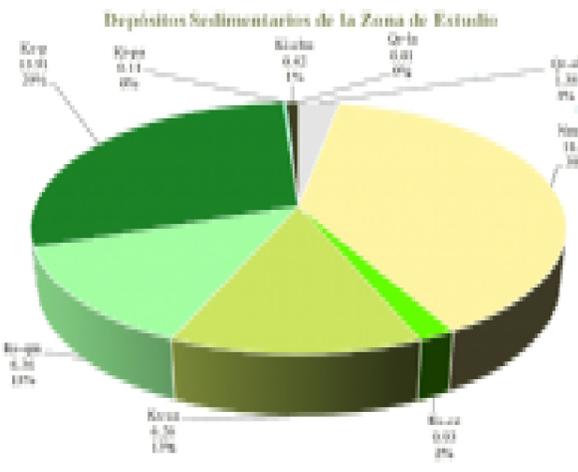
Ks-ca

Ks-qm

Ks-yu

Ki-pa

Ki-chu

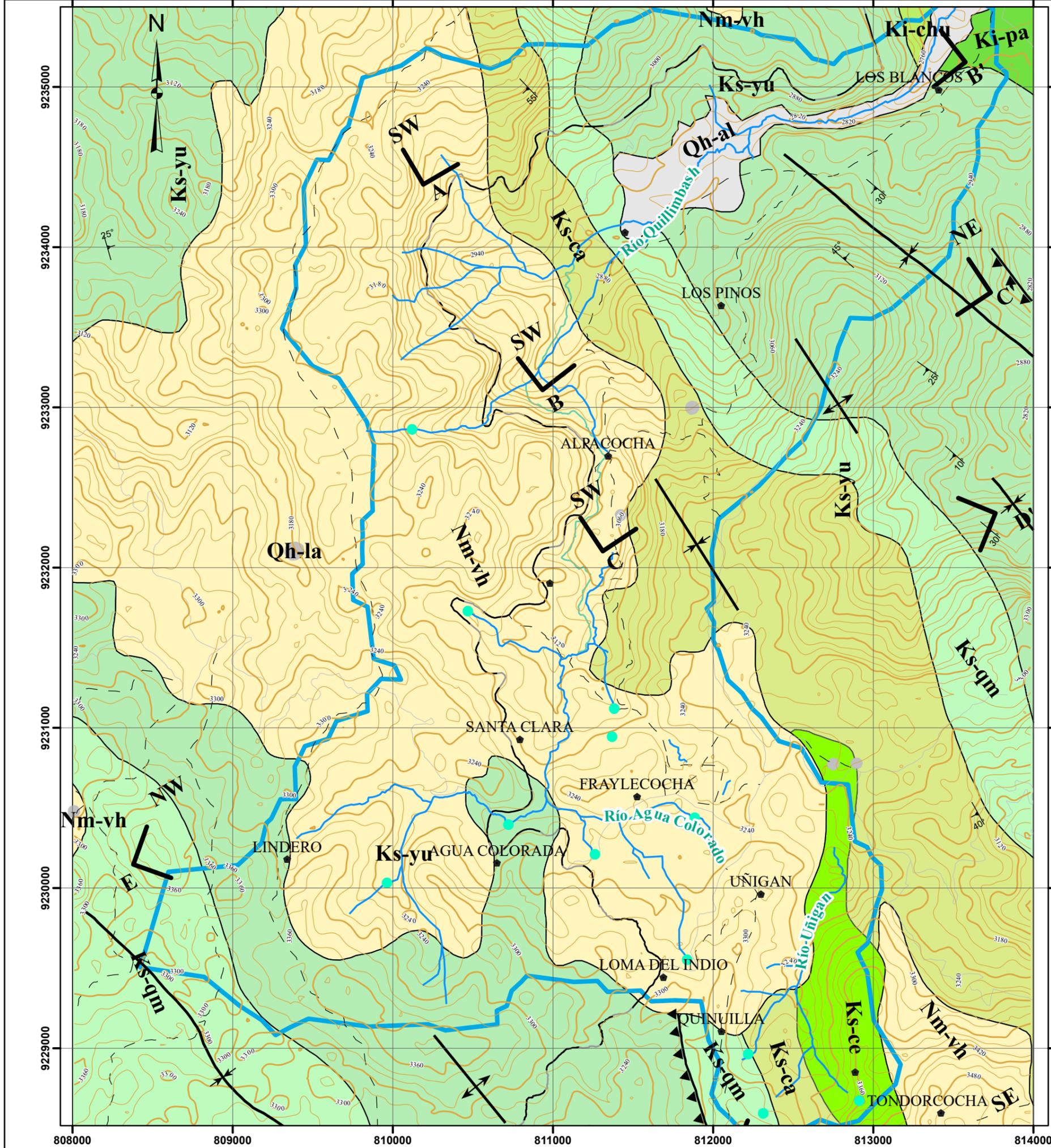


0 500 1,000 2,000 3,000 Metros

Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984

SISTEMA DE CUADRÍCULA: UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		PLANO N°: <h1>04</h1>
	TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Geológico		
	ELABORADO: BACH. Odiffo GOICOECHEA CHÁVEZ		
	ASESOR: Dr. Ing. C. ZENÓN MAMANI QUISPE		
ESCALA: 1/25 000	FECHA: 02/ 08/ 2024	UBICACIÓN: DIST.: JOSÉ GÁLVEZ PROV.: CELENDÍN DEP.: CAJAMARCA	



Legenda Simbología

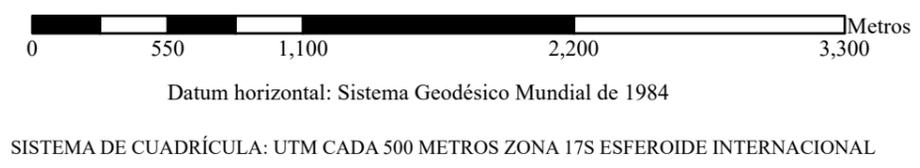
- Rumbos_Buzamientos
- Manantial
- Comunidad

Name SIMBOLOGÍA

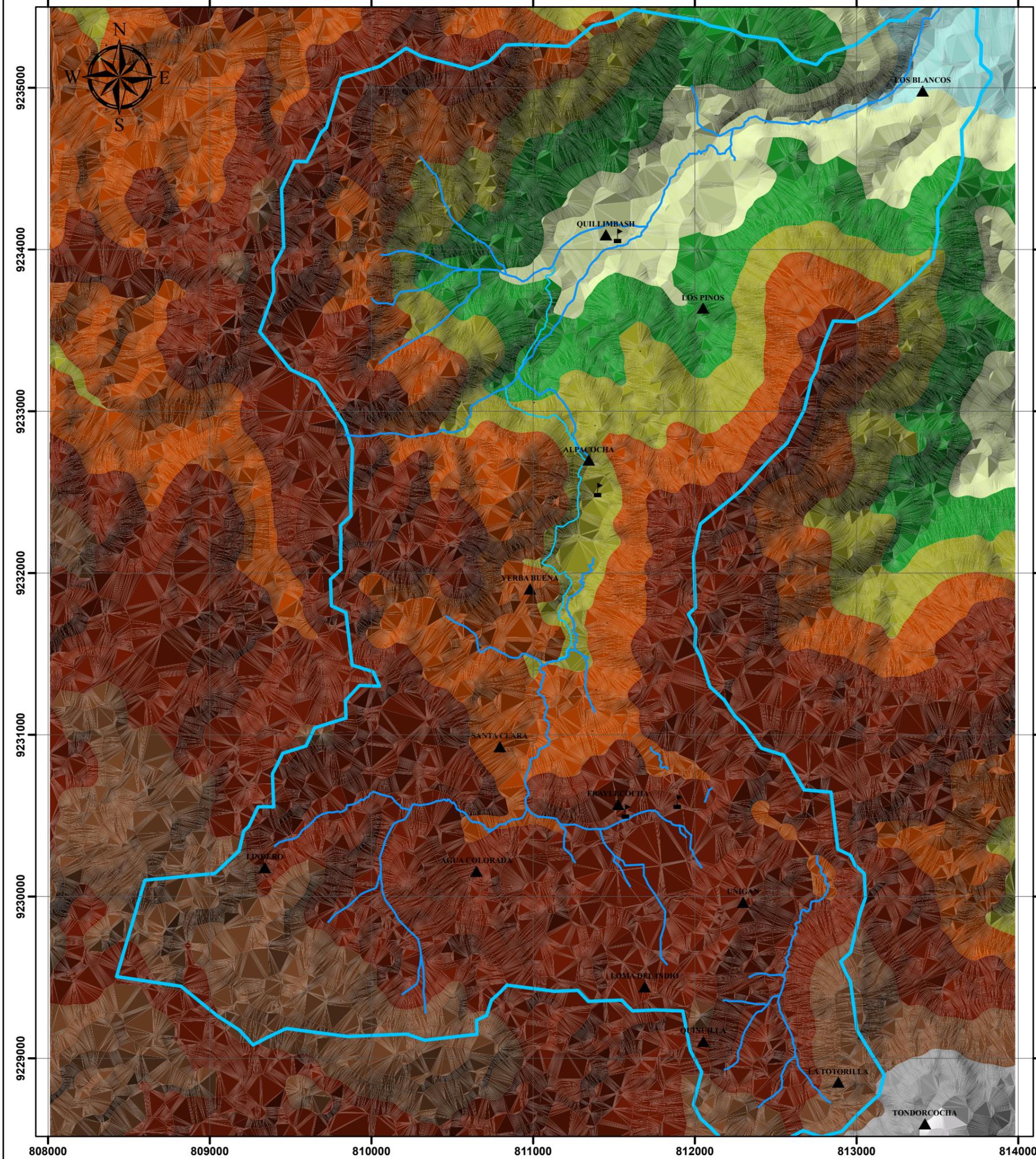
- Anticlinal inferido
- Sinclinal
- A-A' Corte Geológico
- B-B' Corte Geológico
- C-C' Corte Geológico
- D-D' Corte Geológico
- E-E' Corte Geológico
- Drenaje
- Curvas_60 m
- Curvas_20 m
- Canal_Regadío
- Red Vial Nacional
- Carretera_Afirmada
- Camino_herradura
- Límite_Microcuenca Hidrográfica
- Lagunas

Símbolos

- Falla
- Qh-al
- Qh-la
- Nm_vh
- Ks-ce
- Ks-ca
- Ks-qm
- Ks-yu
- Ki-pa
- Ki-chu



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		PLANO N°: <h1 style="font-size: 2em;">05</h1>
	TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Geológico - Estructural		
	ELABORADO: BACH. Odilfo GOICOECHA CHÁVEZ		
	ASESOR: Dr. Ing. C. ZENÓN MAMANI QUISPE		
ESCALA: 1/25 000	FECHA: 02 / 08 / 2024	UBICACIÓN DIST: JOSÉ GÁLVEZ PROV: CELENDÍN DEP: CAJAMARCA	



**Legenda
Simbología:**

- Centro Educativo
- Comunidad
- Casa Aislada
- Canal_Regadío
- Drenaje
- Microcuenca Hidrográfica

Altitud (msnm)

Elevation

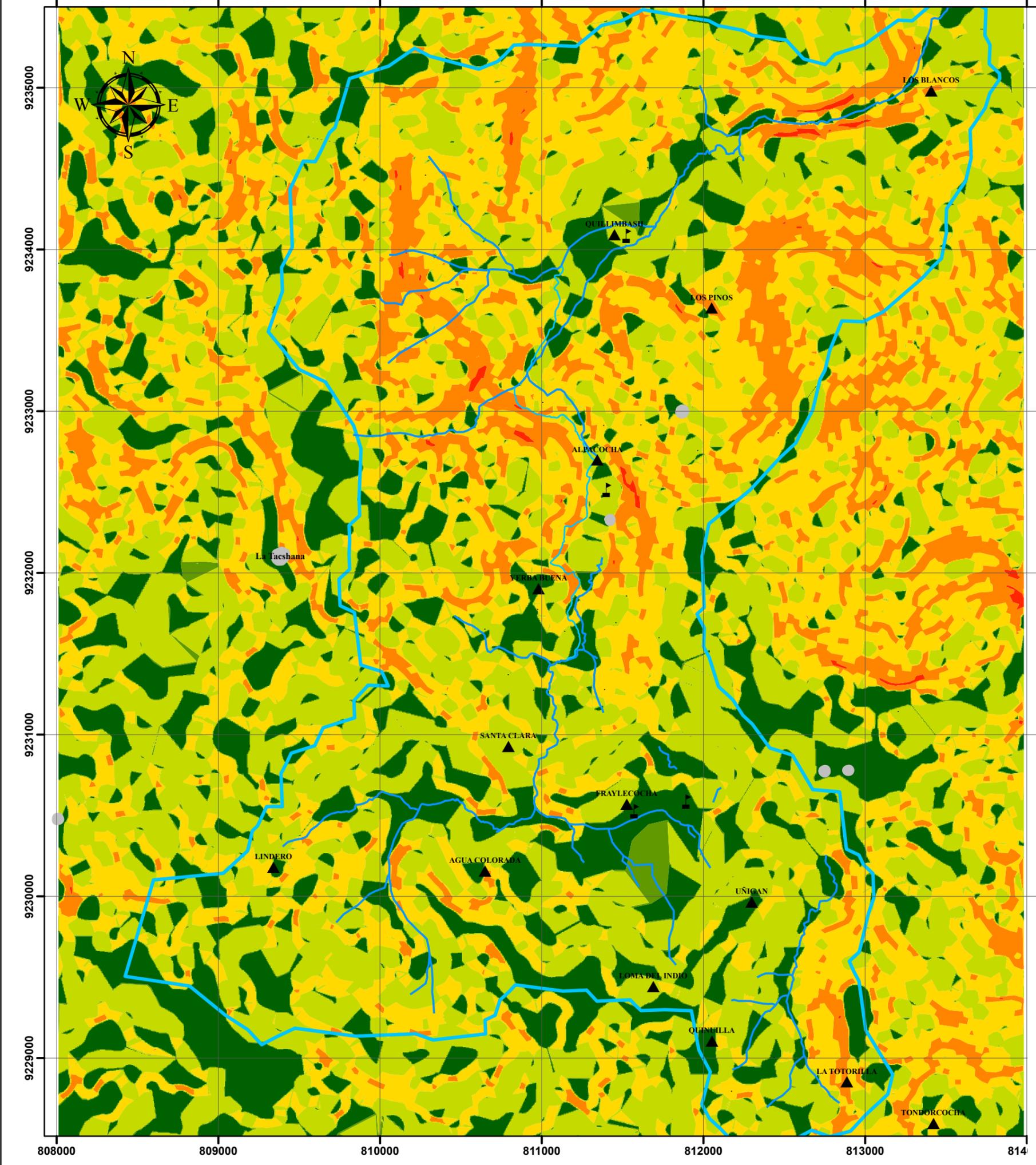
- 3500 - 3600
- 3400 - 3500
- 3300 - 3400
- 3200 - 3300
- 3100 - 3200
- 3000 - 3100
- 2900 - 3000
- 2800 - 2900
- 2700 - 2800



Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984

SISTEMA DE CUADRÍCULA: UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		PLANO N°: 06
	TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Modelo Digital de Elevación [MDE] - Altitudinal		
	ELABORADO: BACH. Odiffo GOICOECHA CHÁVEZ		
	ASESOR: Dr. Ing. ZENÓN C. MAMANI QUISPE		
ESCALA: 1/25 000	FECHA: 02 / 08 / 2024	UBICACIÓN DIST.: JOSÉ GÁLVEZ PROV.: CELENDÍN DEP.: CAJAMARCA	
DATUM: WGS - 84			



Legenda Simbología:

- Centro Educativo
- Comunidad
- Canal_Regadío
- Drenaje
- Microcuenca Hidrográfica

Simbología Pendientes

Rango

- 0° - 1°
- 1° - 5°
- 5° - 15°
- 15° - 25°
- 25° - 45°
- >45°

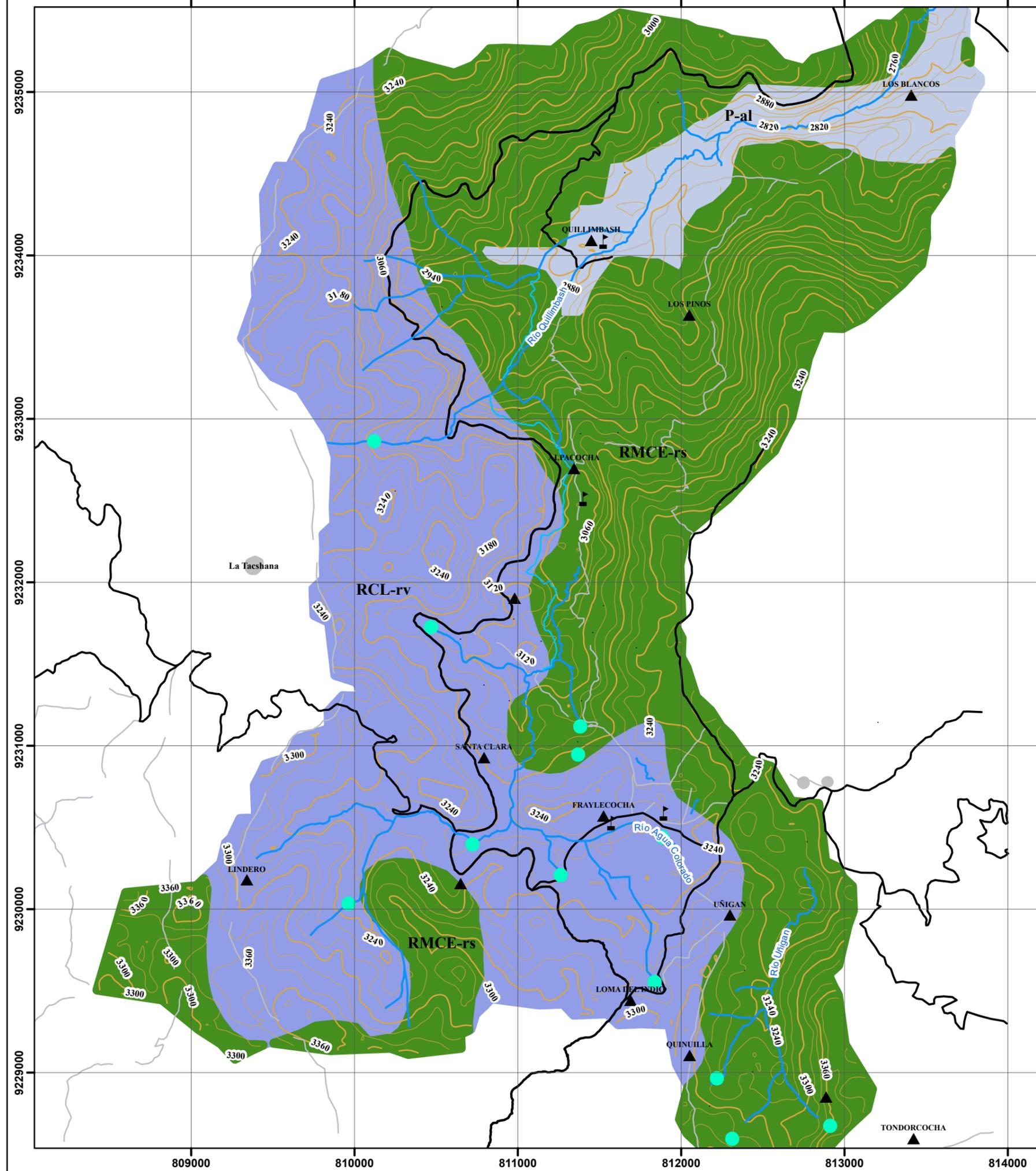
Fuente: Vilchez, (2013)



Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984

SISTEMA DE CUADRÍCULA: UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		PLANO N°: <h1 style="font-size: 2em;">07</h1>
	TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Modelo Digital de Elevaciones [MDE] - Pendientes		
	ELABORADO: BACH. Odilfo GOICOECHA CHÁVEZ		
	ASESOR: Dr. Ing. ZENÓN C. MAMANI QUISPE		
ESCALA: 1/25 000 DATUM: WGS - 84	FECHA: 02 / 08 / 2024	UBICACION DIST.: JOSÉ GÁLVEZ PROV.: CELENDÍN DEP.: CAJAMARCA	



Legenda

- Manantial
- ▲ Comunidad
- Canal_Regadío
- Carretera_Afirmada
- Camino_herradura
- Microcuenca Hidrográfica
- Curva_60_m
- Curva_20_m

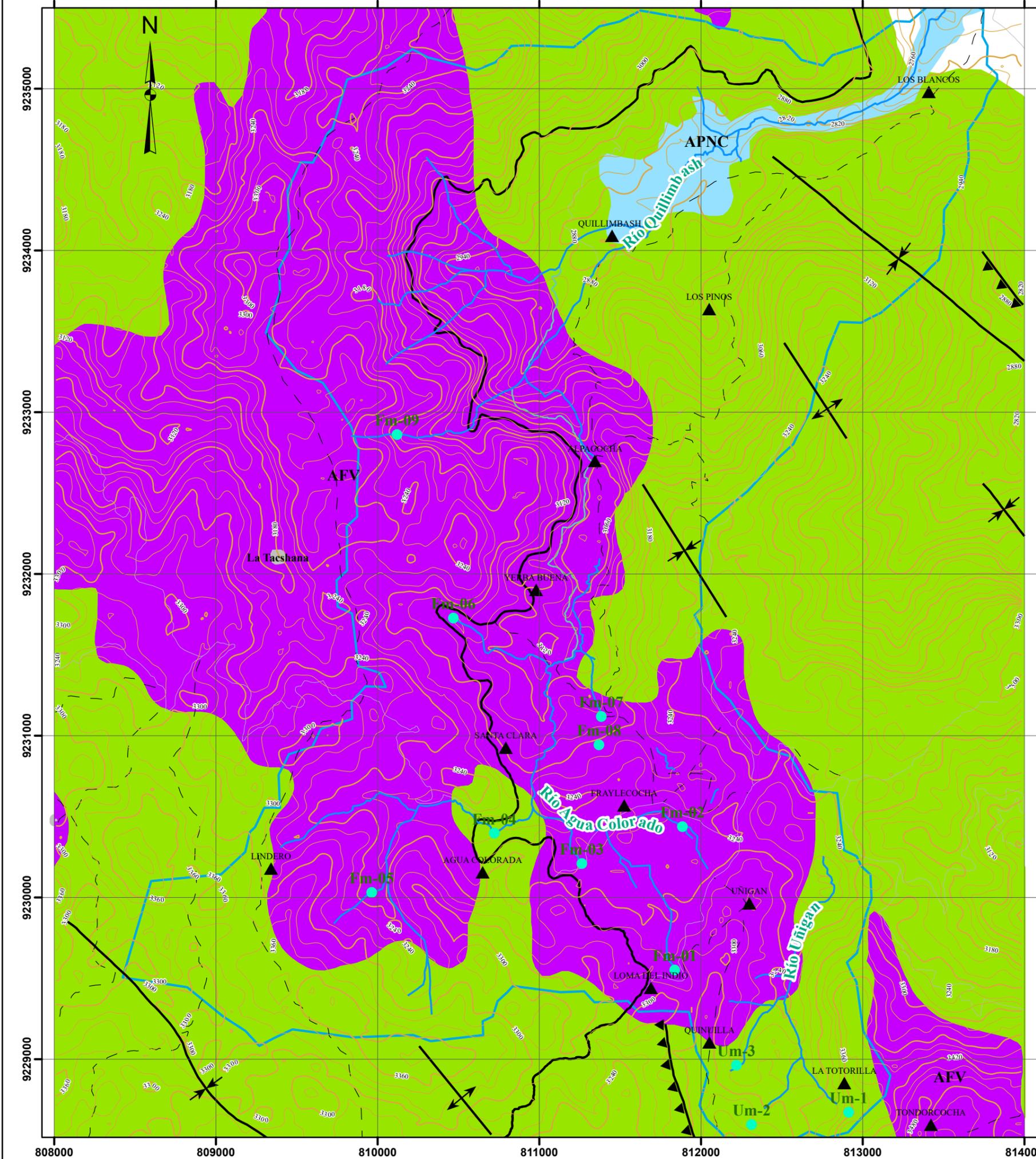
Unidades Geomorfológicas - Relieve

- sub_uni**
- Vertiente o piedemonte aluvio-lacustre
 - Colina y lomada en roca volcánica
 - Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria



Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984
 SISTEMA DE CUADRÍCULA: UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		08
	TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Unidades Geomorfológicas - Relieve		
	ELABORADO: BACH. Odilfo GOICOECHEA CHÁVEZ		
ASESOR: Dr. Ing. ZENÓN C. MAMANI QUISPE		UBICACIÓN DIST.: JOSE GALVEZ PROV.: CELENDÍN DEP.: CAJAMARCA	
ESCALA: 1/25 000 DATUM: WGS - 84	FECHA: 02 / 08 / 2024		



Legenda: Simbología

- Manantial
- ▲ Comunidad

Name

- Sinclinal
- Anticlinal inferido
- Drenaje
- Curvas_60 m
- Curvas_20 m
- Canal_Regadío
- Red Vial Nacional
- Carretera_Afirmada
- Camino_herradura
- Limite_Microcuenca Hidrográfica
- Lagunas
- Falla

Simbología de Acuíferos

- Acuífero porosos no consolidados
- Acuífero fisurado volcánico
- Acuífero Kárstico

0 500 1,000 2,000 3,000 Metros

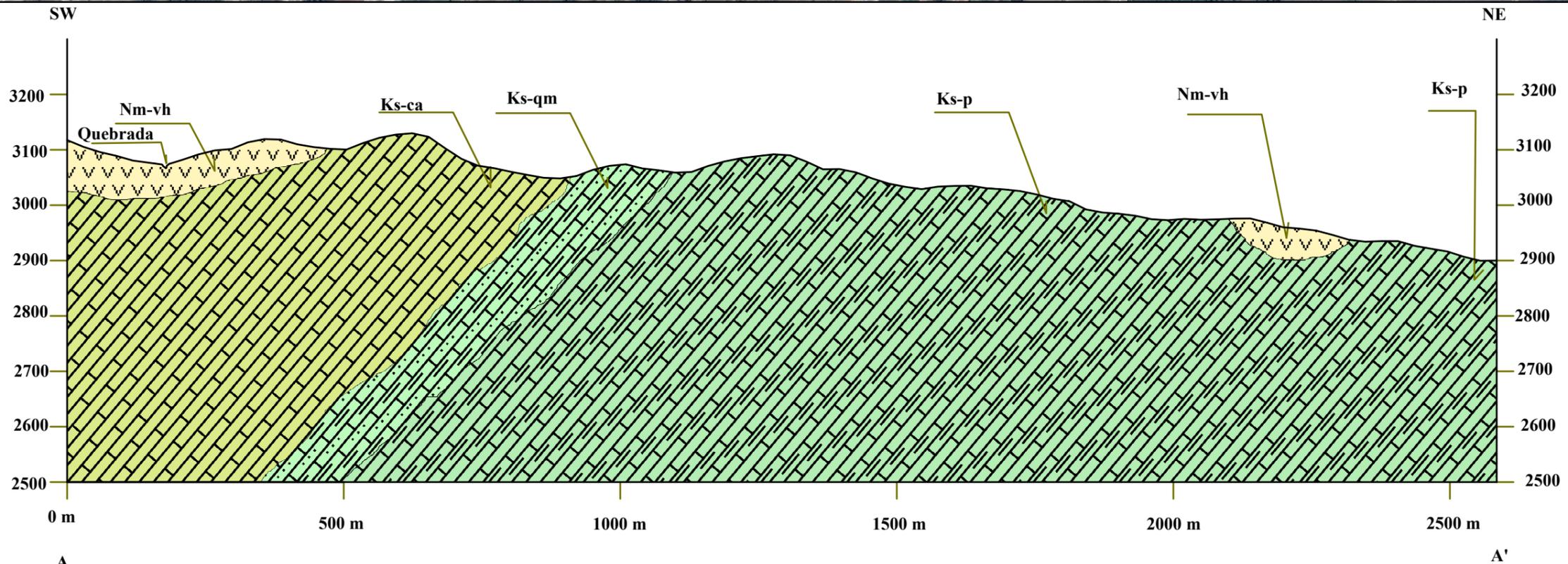
Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984

SISTEMA DE CUADRÍCULA: UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

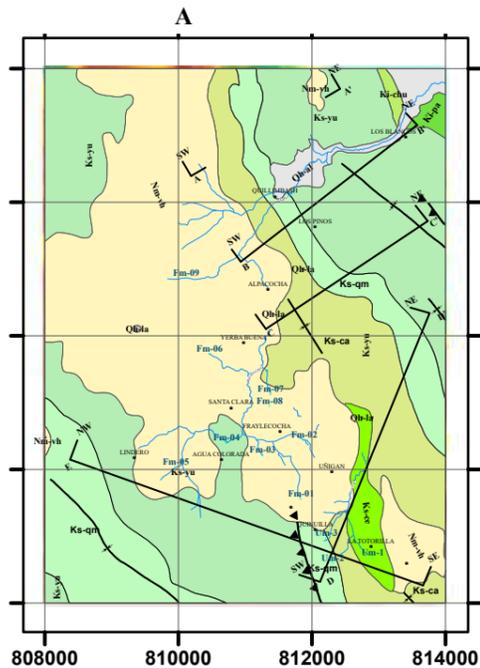
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		09
	TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Hidrogeológico		
	ELABORADO: BACH. Odilio GOICOECHA CHÁVEZ		
	ASESOR: Dr. Ing. C. ZENÓN MAMANI QUISPE		
ESCALA: 1/25 000	FECHA: 02 / 08 / 2024	UBICACIÓN: DIST.: JOSÉ GALVEZ PROV.: CELENDÍN DEP.: CAJAMARCA	



1:9,000



1:9,000



Legenda

- Manantial
 - A-A'
 - B-B'
 - C-C'
 - D-D'
 - E-E'
 - 19
 - Falla
 - Drenaje
 - Límite_Microcuenca Hidrográfica
- Geología**
- Qr-al
 - Qr-la
 - Nm_vh
 - Ks_ce
 - Ks-ca
 - Ks-qm
 - Ks_yu
 - Ki-pa
 - Ki-chu

0 250 500 1,000 1,500 Metros

1:105,832

Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984

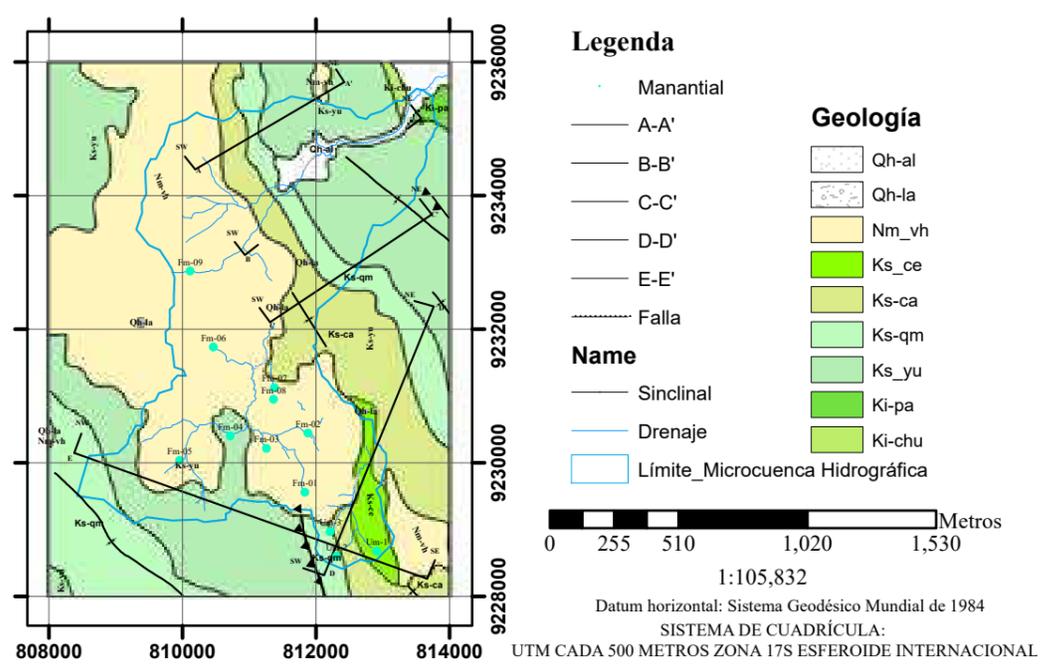
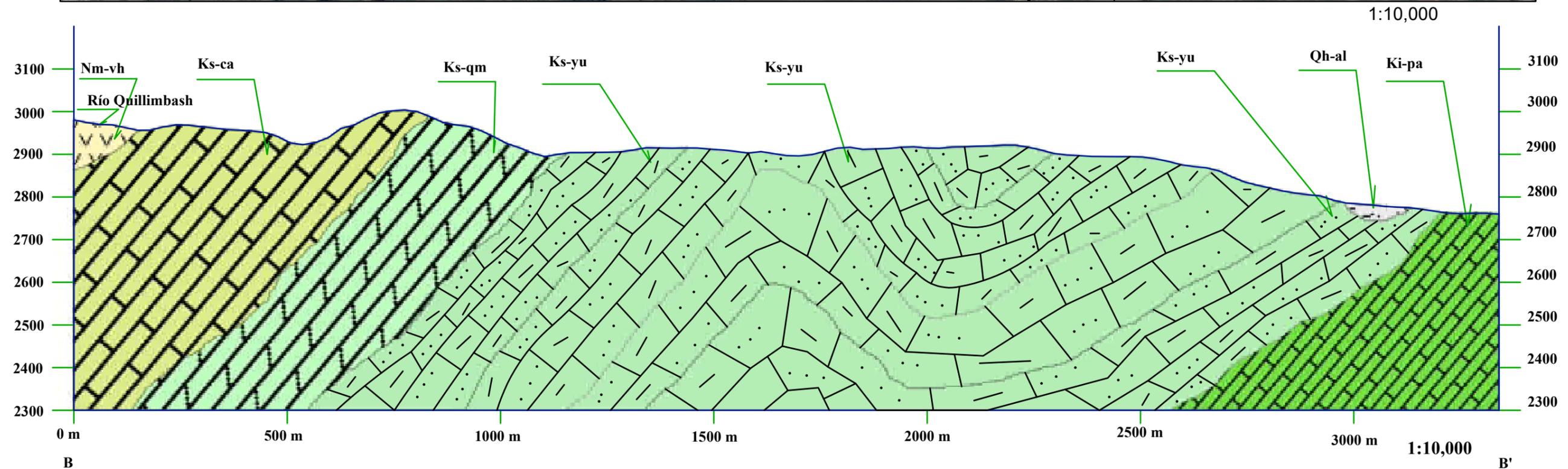
SISTEMA DE CUADRÍCULA:

UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

Sistema	Período	Serie	Época	Piso	Edad	Unidad Litoestratigráfica	Litología	
Cuaternario	Holoceno			Versiliano		Depósito Coluviales	Qh-co	
				Meghalayano		Depósitos Fluviales	Qh-fl	
				Northgrippiano		Depósitos Aluviales	Qh-al	
				Greenlandiano		Depósitos Lagunares	Qh-la	
Neógeno	Mioceno			Serravalliano		Fm. Huambos	Nm-vh	
				Langhiano				
				Burdigaliano				
Cretácico	Superior			Santoniano		Fm. Celendín	Ks-ce	
				Coniaciano				
				Turoniano		Fm. Cajamarca	Ks-ca	
				Cenomaniano	Grupo Quilquián		Fm. Coñor	
							Fm. Romirón	Ks-qm
	Inferior				Grupo Pullucana		Fm. Mujarún	
							Fm. Yumagual	Ks-yu
					Grupo Cráncas		Fm. Pariatambo	Ki-pa
							Fm. Chulec	Ki-chu

En la **sección A-A'**, orientada suroeste - noreste, transversal a la Microcuenca hidrográfica, que cruza el C.P. Quillimbash, podemos ver que la Formación Cajamarca, Grupo Pullucana y Grupo Quilquián los aflorantes superficial y con buzamiento de 40° a 45°, con una densidad de fracturas 2.3 y con conductividad hidráulica de 0.32 m/día.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		P-01
	TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Perfil Geológico A - A'		
	ELABORADO: BACH. Odiffo GOICOCHEA CHÁVEZ		
	ASESOR: Dr. Ing. C. ZENÓN MAMANI QUISPE		
	ESCALA: 1/25 000 DATUM: WGS - 84_17S	UBICACIÓN: JOSÉ GÁLVEZ PROV.: CELENDÍN DEP.: CAJAMARCA	



Sistema	Periodo	Serie	Época	Piso	Edad	Unidad Litoestratigráfica	Litología	
Cuaternario	Holoceno		Versiliano			Depósito Coluviales	Qh-co	
			Meghalayano			Depósitos Fluviales	Qh-fl	
			Northgrippiano			Depósitos Aluviales	Qh-al	
			Greenlandiano			Depósitos Lagunares	Qh-la	
Neógeno	Mioceno		Serravalliano			Fm. Huambos	Nm-vh	
			Langhiano					
			Burdigaliano					
			Santoniano					
			Coniaciano					
Cretáceo	Superior		Turoniano			Fm. Cajamarca	Ks-ca	
			Cenomaniano	Grupo Quillimbash			Fm. Coñor	
							Fm. Romirón	Ks-qm
							Fm. Mujarún	
							Fm. Yumagual	Ks-yu
			Albiano	Grupo Cónegras			Fm. Pariatambo	Ki-pa
							Fm. Chulec	Ki-chu

En la **sección B-B'**, orientada suroeste - noreste, transversal a la Microcuenca hidrográfica, que cruza el C.P. Quillimbash, flanco izquierdo del río Quillimbash; se puede apreciar un sinclinal y un anticlinal, podemos ver que el eje del anticlinal inferido y sinclinal en la Formación Yumagual.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018

PLANO: Perfil Geológico B - B'

ELABORADO: BACH. Odiffo GOICOCHEA CHÁVEZ

ASESOR: Dr. Ing. C. ZENÓN MAMANI QUISPE

ESCALA: 1/25 000 WGS - 84_17S FECHA: 02 / 08 / 2024

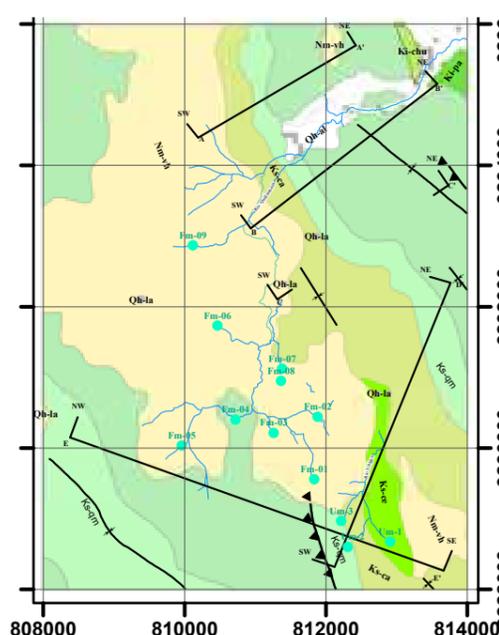
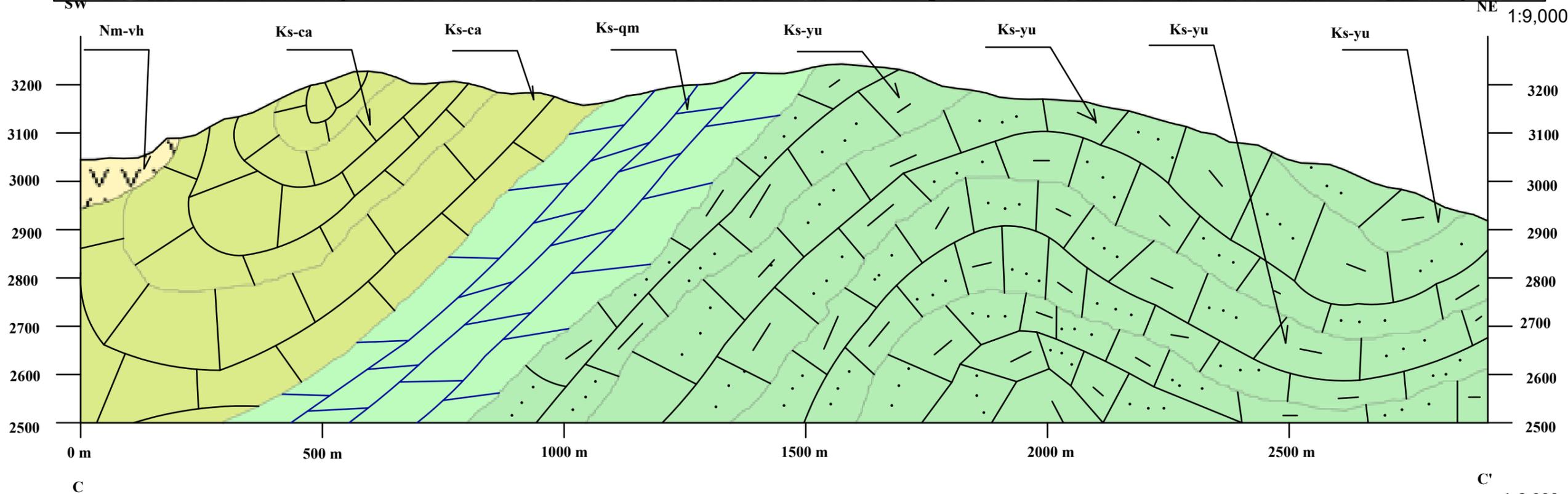
UBICACIÓN

DIST: JOSÉ GÁLVEZ

PROV: CELENDÍN

DEP: CAJAMARCA

P-02



Legenda

- Manantial
- A-A'
- B-B'
- C-C'
- D-D'
- E-E'
- Falla
- Anticlinal
- Sinclinal
- Drenaje

Geologia

- Manantial
- Qh-al
- Qh-la
- Nm-vh
- Ks-ce
- Ks-ca
- Ks-qm
- Ks-p
- Ki-pa
- Ki-chu

Layer

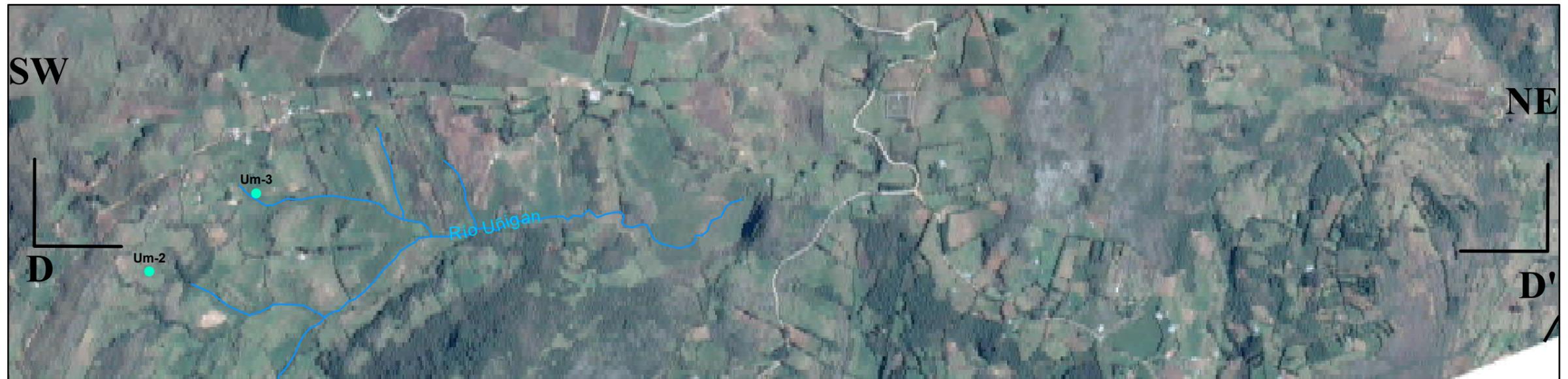
- Ks-qm
- Ks-p
- Ki-pa
- Ki-chu

Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984
SISTEMA DE CUADRÍCULA:
UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

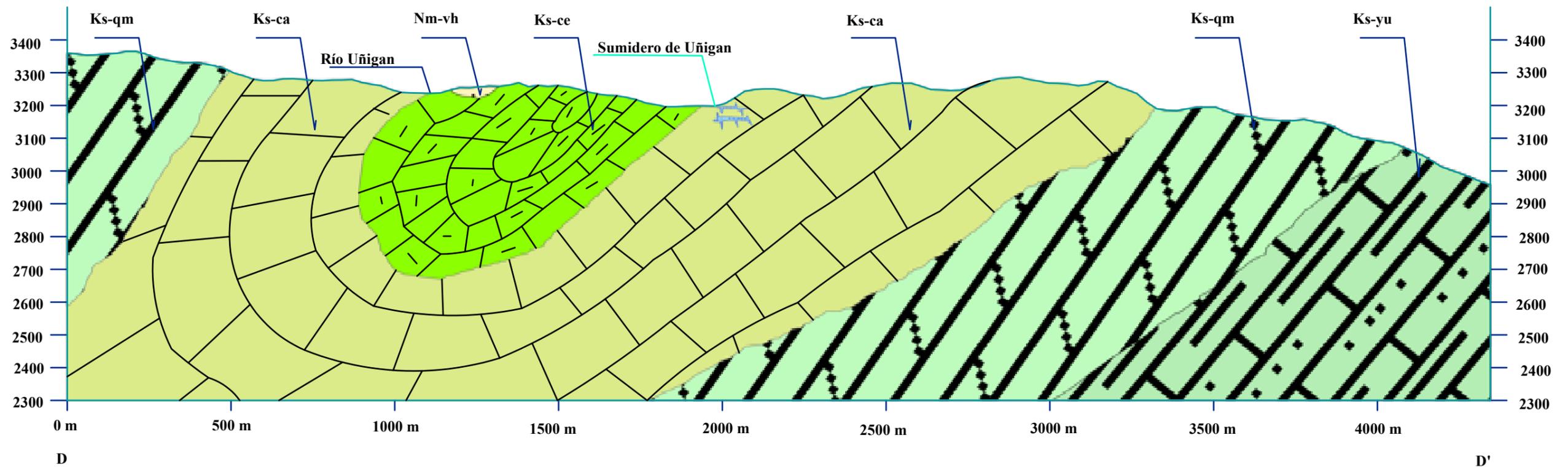
Sistema	Periodo	Serie	Epoca	Piso	Edad	Unidad Litoestratigráfica	Litología		
Cuaternario	Holoceno			Versiliano		Depósito Coluviales	Qh-co		
				Meghalayano		Depósitos Fluviales	Qh-fl		
				Northgrippiano		Depósitos Aluviales	Qh-al		
				Greenlandiano		Depósitos Lagunares	Qh-la		
Neógeno	Mioceno			Serravalliano		Fm. Huambos	Nm-vh		
				Langhiano					
				Burdigaliano					
				Santoniano					
Cretácico	Superior			Coniaciano		Fm. Celendin	Ks-ce		
				Turoniano		Fm. Cajamarca	Ks-ca		
				Cenomaniano		Fm. Coñor	Ks-qm		
						Fm. Romirón			
				Albiano				Fm. Yumagual	Ks-yu
								Fm. Pariatambo	Ki-pa
				Fm. Chulec	Ki-chu				

En la **sección C-C'**, orientada suroeste - noreste, transversal a la Microcuenca hidrográfica, que cruza el C.P.Alpacocha, Quillimbash y Los Pinos, se puede apreciar un sinclinal y un anticlinal, podemos ver que el eje del anticlinal inferido y sinclinal en la Formación Yumagual y eje del sinclinal en la Formación Cajamarca.

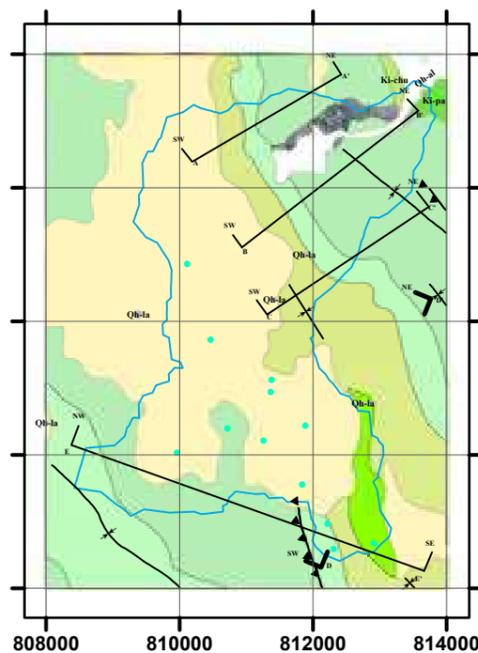
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
		TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018	PLANO N°: P-03
PLANO: Perfil Geológico C - C'		ELABORADO: BACH. Odiffo GOICOCHEA CHÁVEZ	
ASESOR: Dr. Ing. C. ZENÓN MAMANI QUISPE		UBICACIÓN DIST: JOSÉ GÁLVEZ PROV: CELENDÍN DEP: CAJAMARCA	
ESCALA: 1/25 000		FECHA: 02 / 08 / 2024	
DATUM: WGS - 84 17S			



1:13,250



50

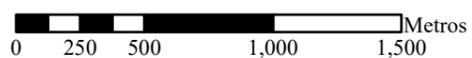


Legenda

- Manantial
- A-A'
- B-B'
- C-C'
- D-D'
- E-E'
- Falla
- Name
- Sinclinal
- Límite_Microcuenca Hidrográfica

Geología

- Manantial
- Qh-al
- Qh-la
- Nm-vh
- Ks-ce
- Ks-ca
- Ks-qm
- Ks-p
- Ki-pa
- Ki_chu



1:105,832

Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984

SISTEMA DE CUADRÍCULA:

UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACIONAL

Sistema Período	Serie Época	Piso Edad	Unidad Litoestratigráfica	Litología
Cuaternario	Holoceno	Versiliano	Depósito Coluviales	Qh-co
		Meghalayano	Depósitos Fluviales	Qh-fl
		Northgrippiano	Depósitos Aluviales	Qh-al
		Greenlandiano	Depósitos Lagunares	Qh-la
Neógeno	Mioceno	Serravalliano	Fm. Huambos	Nm-vh
		Langhiano		
		Burdigaliano		
		Santoniano Coniaciano	Fm. Celendín	Ks-ce
Cretácico	Superior	Turoniano	Fm. Cajamarca	Ks-ca
		Grupo Quilquihuan	Fm. Coñor	
			Fm. Romirón	Ks-qm
		Cenomaniano	Fm. Mujarún	
			Fm. Yumagual	Ks-yu
		Inferior	Grupo Chongos	Fm. Pariatambo
Fm. Chulec	Ki-chu			

En la sección D-D', orientada suroeste - noreste, transversal a la Microcuenca hidrográfica, que cruza el C.P. Quinulla, Uñigan y Fraylecocha, se puede apreciar un sinclinal, podemos ver que el eje del sinclinal en la Formación Celendín. El río Uñigan presenta una filtración a través de un sumidero en la Formación Cajamarca, gracias a su impermeabilidad de las calizas, presentando una permeabilidad secundaria originando un relieve kárstico originando acuíferos kársticos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018

PLANO N°:

PLANO: Perfil Geológico D - D'

ELABORADO: BACH. Odilio GOICOECHA CHÁVEZ

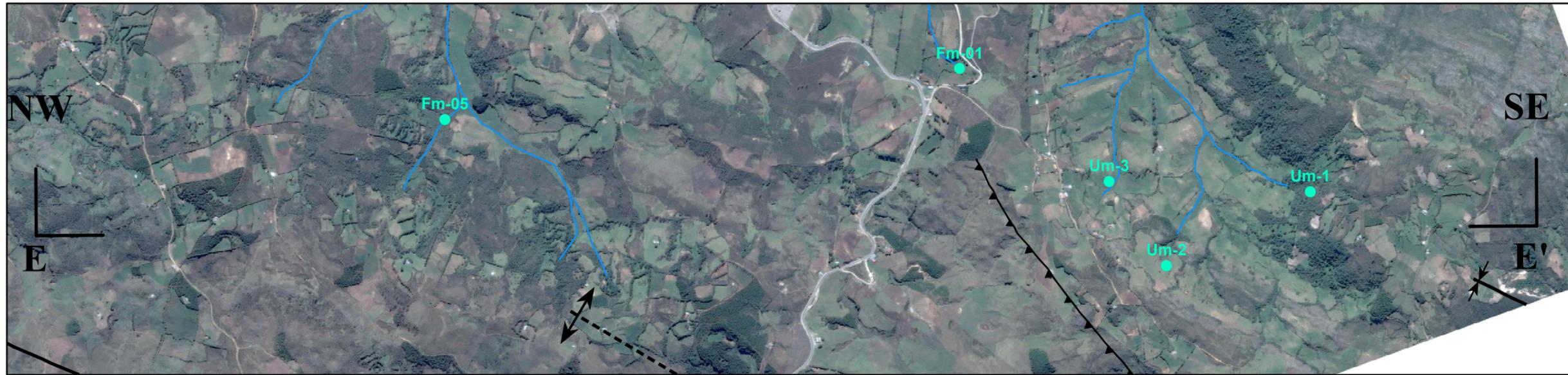
ASESOR: Dr. Ing. C. ZENÓN MAMANI QUISPE

ESCALA: 1/25 000

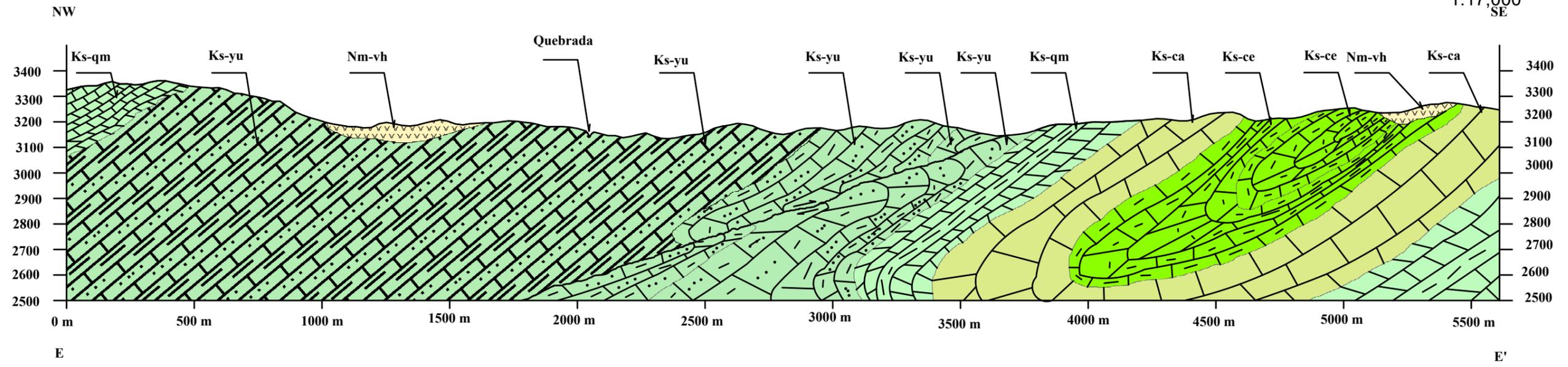
FECHA: 02 / 08 / 2024

UBICACIÓN
DIST: JOSÉ GÁLVEZ
PROV: CELENDÍN
DEP: CAJAMARCA

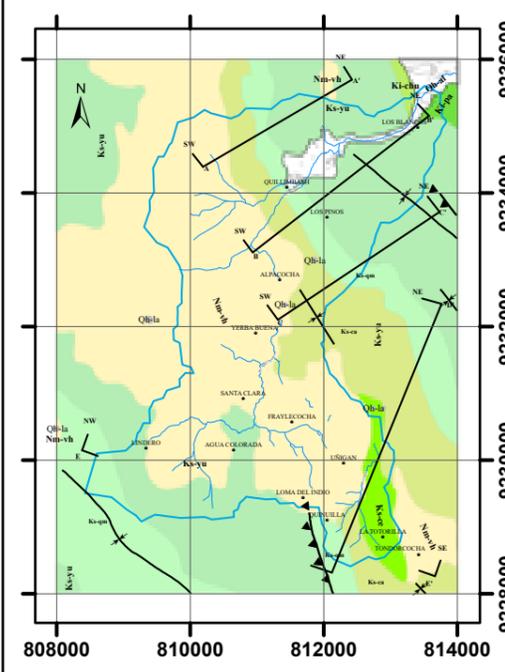
P-04



1:17,000
SE



1:17,000



Legenda

- A-A'
- B-B'
- C-C'
- D-D'
- E-E'
- - - - - Falla
- Sinclinal
- Drenaje
- Limite_Microcuenca Hidrográfica

Geología

- Qh-al
- Qh-la
- Nm-vh
- Ks-ce
- Ks-ca
- Ks-qm
- Ks-yu
- Ki-pa
- Ki-chu

Name

0 255 510 1,020 1,530 Metros
1:105,832

Datum horizontal: Sistema Geodésico Mundial de 1984
SISTEMA DE CUADRÍCULA:
UTM CADA 500 METROS ZONA 17S ESFEROIDE INTERNACION

Sistema Período	Serie Época	Piso Edad	Unidad Litoestratigráfica	Litología	
Cuaternario	Holoceno	Versiliano	Depósito Coluviales	Qh-co	
		Meghalayano	Depósitos Fluviales	Qh-fl	
		Northgrippiano	Depósitos Aluviales	Qh-al	
		Greenlandiano	Depósitos Lagunares	Qh-la	
Neógeno	Mioceno	Serravalliano			
		Langhiano	Fm. Huambos	Nm-vh	
		Burdigaliano			
Cretácico	Superior	Santoniano	Fm. Celendin	Ks-ce	
		Coniaciano			
	Cenomaniano	Grupo Qullqullian		Fm. Cajamarca	Ks-ca
		Grupo Pallasca	Fm. Coñor		
			Fm. Romirón	Ks-qm	
	Inferior	Grupo Cribancas	Fm. Mujarún		
			Fm. Yumagual	Ks-yu	
		Grupo Cribancas	Fm. Pariatambo	Ki-pa	
			Fm. Chulec	Ki-chu	

En la sección E-E', orientada suroeste - noreste, transversal a la Microcuenca hidrográfica, que cruza el C.P. Lindero, Loma del Indio y Quinuilla, se puede apreciar un sinclinal y falla de escurrimiento, podemos ver que el eje del sinclinal en la Formación Celendín. Ubicándose en cabecera de Microcuenca, esta falla de escurrimiento es la que origina los manantiales, presenta una permeabilidad secundaria originando un relieve Kárstico originando acuífero kárstico.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		PLANO N°: P-05
	TESIS: CARÁCTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ROCAS CARBONATADAS EN FRAYLECOCHA, CELENDÍN - CAJAMARCA, 2018		
	PLANO: Perfil Geológico E - E'		
	ELABORADO: BACH. Odilio GOICOECHA CHÁVEZ	UBICACIÓN: DIST: JOSÉ GÁLVEZ PROV: CELENDÍN DEP: CAJAMARCA	
	ASESOR: Dr. Ing. C. ZENÓN MAMANI QUISPE	ESCALA: 1/25 000 DATUM: WGS - 84_17S	