

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



TESIS PROFESIONAL

**EVALUACIÓN GEOESTRUCTURAL E HIDROGEOLÓGICA DE
LA PARTE INFERIOR DE LA SUBCUENCA CHIRIMAYO –
SOROCHUCO – CAJAMARCA**

Para Optar Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

Bach. ABEL LOZANO IZQUIERDO

Asesor:

Ing. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

Cajamarca - Perú 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la vida la salud para hacer realidad mi carrera profesional y a mis padres por su apoyo incondicional durante toda mi formación profesional, mis hermanos y hermanas que siempre estuvieron apoyándome de una u otra manera a mis docentes que me inculcaron el conocimiento y la buena práctica de valores frente a la sociedad. A todos muchas Gracias.

A mis docentes de la Escuela académico profesional de ingeniería geológica, en especial al Ing. José Siveroni Morales, Ing. Víctor Arapa Vilca, Ing. Alejandro C. Lagos Manrique, Ing. Roberto S. Gonzales Yana, por sus aportes y enseñanzas para el desarrollo de esta investigación, así como en mi formación profesional.

De manera muy especial al Ing. Reinaldo Rodríguez Cruzado, por su apoyo como asesor de mi tesis, por sus conocimientos y enseñanzas transmitidos para hacer realidad esta investigación.

Son muchos las personas que formaron parte de mi vida profesional brindándome su apoyo, animo, consejos y conocimientos por haber formado parte de mi vida profesional y contribuyeron para cumplir con este importante objetivo.

DEDICATORIA

De todo corazón a mi querida mamá Telesvinda Izquierdo Cachi, por su apoyo incondicional y ejemplos de sacrificio, perseverancia y sus ánimos de superación que me ha infundido siempre.

A mi papá Teodoro Lozano Rojas por sus consejos y su lucha constante, sacrificio y enseñanzas de superación que me ha inculcado siempre y por su apoyo para cumplir este objetivo profesional.

A mis hermanos Nolberto Lozano Izquierdo y Carlos Lozano Chávez por haberme apoyado de manera directa o indirectamente para el desarrollo de esta investigación.

A mis hermanas Loida Lozano Izquierdo y Lesbia Lozano Izquierdo, a mis cuñados Gilberto Bolaños Ayala y Gamayel Ayala Rodríguez por su apoyo para lograr el desarrollo de la presente investigación.

CONTENIDO	Pagina
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.5. LIMITACIONES	5
1.6. OBJETIVOS.....	6
1.6.1. GENERAL.....	6
1.6.2. ESPECIFICOS.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	7
2.2. TEORÍAS REFERENTES AL TEMA DE INVESTIGACIÓN	8
2.2.1. BREVE HISTORIA DE LA HIDROGEOLOGÍA.....	8
2.2.2. HIDROGEOLOGÍA	9
2.2.3. CONTROLES GEOLÓGICOS	10
2.2.4. CONTROLES ESTRUCTURALES	12
2.2.5. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS FUNDAMENTALES	16
2.2.6. FORMACIONES GEOLÓGICAS Y SU COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA.	17
2.2.7. TIPOS DE ACUÍFEROS Y SU COMPORTAMIENTO.	18
2.2.8. SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y ESTRUCTURALES	20
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	22
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. METODOLOGÍA	25
3.2. RECOLECCIÓN DE DATOS	25
3.3. ETAPA DE GABINETE	25
4.3.1. GABINETE I.....	25
4.3.2. ETAPA DE GABINETE II.....	26
3.4. ETAPA DE CAMPO.....	26
3.5. SOFTWARES UTILIZADOS.....	27
3.6. CONTROL DE CALIDAD.....	28
CAPÍTULO IV. GENERALIDADES.....	29
4.1. UBICACIÓN	29
4.2. ACCESIBILIDAD	30
4.3. CLIMA.....	30
4.4. VEGETACIÓN	31

CAPÍTULO V. GEOMORFOLOGÍA.....	32
5.1. MODELOS DIGITALES	32
1.6.3. MODELO DE ELEVACIONES	32
1.6.4. MODELO DEL TERRENO.....	33
5.2. UNIDADES MORFOLOGICAS	34
5.2.1. PLANICIES	35
5.2.2. LOMADAS	35
5.2.3. LADERAS	36
5.2.4. ESCARPAS	37
5.3. KARST	39
5.4. EL MEDIO KARSTICO	40
5.5. MANIFESTACIONES EXOKÁRSTICAS	42
CAPÍTULO VI. GEOLOGIA LOCAL	45
6.1. FORMACIÓN PULLUÍCANA	46
6.2. VOLCANICO PORCULLA	48
6.3. DEPÓSITOS COLUVIALES	49
6.4. DEPÓSITOS FLUVIALES	50
6.5. DEPÓSITOS ALUVIALES	50
6.6. INTRUSIONES	51
6.7. METRAMORFISMO	52
CAPÍTULO VII. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	54
7.1. FALLA CHOCTA.....	55
7.2. FALLA EL TORO	55
7.3. FALLA EL CARBÓN	56
7.4. FALLA LA CLARA	57
7.5. FALLA UÑIGAN.....	57
7.6. ESTACIONES ESTRUCTURALES	58
7.6.1. ESTACIONES (E-1,E-2 Y E-3):	58
7.6.2. ESTACION 04:	61
7.6.3. ESTACION 05:	62
7.6.4. ESTACION 06:	63
7.6.5. ESTACION 07:	64
7.6.6. ESTACION 08:	66
CAPÍTULO VIII.HIDROGEOLOGÍA.....	68
8.1. EL CICLO HIDROLOGICO.....	68
8.2. DESCRIPCION DEL MOVIMIENTO DEL AGUA.....	69
8.3. BALANCE DE AGUA PARA UNA CUENCA HIDROLOGICA	70

8.4.	RELACION ENTRE AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES.....	71
8.4.1.	MANANTIALES	71
8.4.2.	CLASIFICACION DE MANANTIALES.....	71
8.5.	RELACION ENTRE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA.....	72
8.6.	MEDIDA DE CUDALES.....	73
8.6.1.	AFORO.....	73
8.7.	INVENTARIO DE MANANTIALES Y ACUIFEROS	74
8.8.	PARAMETROS FISICOQUIMICOS DE MUESTRAS.....	89
CAPÍTULO IX. ANALISIS DE RESULTADOS.....		104
9.1.	GEOESTRUCTURAS.....	104
9.1.1.	DISCONTINUIDADES	104
9.2.	GEOMORFOLOGIA	110
5.5.1.	UNIDADES MORFOLOGICAS.....	110
9.3.	HIDROGEOLOGÍA	112
9.3.1.	ZONAS DE RECARGA.....	112
9.3.2.	BALANCE HIDROLOGICO	115
9.3.3.	ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.	118
CONCLUSIONES.....		126
RECOMENDACIONES.....		127
BIBLIOGRAFIA.....		128

FIGURAS

Figura 1: Estratificación de las rocas sedimentarias, con tensor de esfuerzos..	11
Figura 2: Formas posibles de plegamiento simétrico y su simbología cartográfica.....	12
Figura 3: Distribución de tensores de esfuerzos en un estrato plegado..	13
Figura 4: Tipos de fallas principales.....	14
Figura 5: Posibles efectos de una falla sobre la posición de los acuíferos.....	14
Figura 6: Acuíferos formados por la erosión de las escarpas.....	15
Figura 7: Formaciones geológicas frente al agua.....	18
Figura 8: Acuíferos de porosidad primaria o porosos.....	19
Figura 9: Acuíferos de porosidad secundaria o fisurados.....	19
Figura 10: Acuíferos kársticos por disolución.....	20
Figura 11: Acuífero libre.....	20
Figura 12: Acuífero confinado.....	21
Figura 13: Acuífero libre y semiconfinado.....	22

IMÁGENES

Imagen 1: Ubicación geográfica y política de la zona de investigación.....	29
Imagen 2: Modelo digital de elevaciones.....	33
Imagen 3: Plano del Modelo Digital del terreno.....	34
Imagen 4: plano de unidades geomorfológicas.....	39
Imagen 5: Columna estratigráfica generalizada de la subcuenca del Río Chirimayo.....	45
Imagen 6: Plano geológico de la zona investigación.....	53
Imagen 7: Plano estructural de la zona investigación.....	54
Imagen 8: El ciclo Hidrológico. Fuente: Universidad Complutense de Madrid.....	70
Imagen 9: Río Efluente (Izquierda), Río Influyente (Derecha).....	73
Imagen 10: Modelo hidrológico dirección de flujo superficial.....	111
Imagen 11: Modelo Hidrogeológico de acuíferos.....	113
Imagen 12: Secciones Hidrogeológicas 1 – Análisis sección N-S.....	113
Imagen 13: Sección Hidrogeológica 1 – sección N-S.....	114
Imagen 14: Secciones Hidrogeológicas 2 – Análisis sección N-S.....	114
Imagen 15: Sección Hidrogeológica 2 – sección N-S.....	115

TABLAS

Tabla 1:	Coordenadas de la zona de investigación	29
Tabla 2:	Accesos a la zona de investigación	30
Tabla 3:	Clasificación de unidades Morfogenéticas. Fuente: Reinaldo R.....	34
Tabla 4:	Datos estructurales estaciones E-01, E-02 y E-03.	59
Tabla 5:	Datos estructurales de la estación E-04.	61
Tabla 6:	Datos estructurales de las estaciones E-05.....	63
Tabla 7:	Datos estructurales de la estación E-06.	64
Tabla 8:	Datos estructurales de la estación E-07.	65
Tabla 9:	Datos estructurales de la estación E-08.	67
Tabla 10:	Inventario de manantial M01.....	75
Tabla 11:	Inventario de manantial M02.....	75
Tabla 12:	Inventario de manantial M03.....	76
Tabla 13:	Inventario de manantial M04.....	76
Tabla 14:	Inventario de manantial M05.....	77
Tabla 15:	Inventario de manantial M06.....	77
Tabla 16:	Inventario de manantial M07.....	78
Tabla 17:	Inventario de manantial M08.....	78
Tabla 18:	Inventario de manantial M09.....	79
Tabla 19:	Inventario de manantial M10.....	79
Tabla 20:	Inventario de manantial M10.....	80
Tabla 21:	Inventario de manantial M11.....	80
Tabla 22:	Inventario de manantial M13.....	81
Tabla 23:	Inventario de manantial M14.....	81
Tabla 24:	Inventario de manantial M15.....	82
Tabla 25:	Inventario de manantial M16.....	82
Tabla 26:	Inventario de manantial M21.....	83
Tabla 27:	Inventario de manantial M17.....	83
Tabla 28:	Inventario de manantial M19.....	84
Tabla 29:	Inventario de manantial M18.....	84
Tabla 30:	Inventario de manantial M20.....	85
Tabla 31:	Inventario de manantial M22.....	85
Tabla 32:	Inventario de manantial M25.....	86
Tabla 33:	Inventario de manantial M24.....	86
Tabla 34:	Inventario de manantial M26.....	87
Tabla 35:	Inventario de manantial M23.....	87
Tabla 36:	Inventario de manantial M27.....	88
Tabla 37:	Inventario de manantial M28.....	88
Tabla 38:	Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-1.....	90
Tabla 39:	Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-2.....	92

Tabla 40: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-3.....	94
Tabla 41: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-4.....	96
Tabla 42: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-5.....	98
Tabla 43: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-3.....	100
Tabla 44: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-7.....	102
Tabla 45: Resultados de análisis de laboratorio y caudales en cada punto de muestreo.....	103
Tabla 46: Unidades geomorfológicas.....	111
Tabla 47: Balance Hidrológico parte alta de la subcuenca.....	116
Tabla 48: Balance Hidrológico parte baja de la subcuenca.....	117

GRAFICOS

Grafico 1: Precipitación año 2015, estación meteorológica Weberbauer - Celendín.....	30
Grafico 2: Temperatura año 2015, estación meteorológica Weberbauer - Celendín.....	31
Grafico 3: Planos y densidad de polos de los estratos estaciones E-01, E-02 y E-03.....	60
Grafico 4: Planos y densidad de polos de las discontinuidades E-01, E-02 y E-03.....	60
Grafico 5: Planos ponderados estación E-04.....	62
Grafico 6: Planos y densidad de polos de las discontinuidades. E-05.....	63
Grafico 7: Planos y densidad de polos de las discontinuidades E- 06.....	64
Grafico 8: Planos y densidad de polos de las discontinuidades E-07.....	66
Grafico 9: Planos y densidad de polos de las discontinuidades estación E-08.....	67
Grafico 10: Análisis de discontinuidades estaciones E-01, E-02 y E-03.....	105
Grafico 11: Análisis de discontinuidades en las estaciones E-04.....	106
Grafico 12: Análisis de discontinuidades en las estaciones E-05.....	107
Grafico 13: Análisis de discontinuidades estaciones E-06.....	108
Grafico 14: Análisis de discontinuidades en las estaciones E-07.....	109
Grafico 15: Análisis de discontinuidades en las estaciones E-08.....	110
Grafico 16: Análisis del balance hidrológico para toda la subcuenca.....	118
Grafico 17: Línea de tendencia Polinómica para la turbiedad.....	119
Grafico 18: Línea de tendencia Polinómica para la Turbiedad vs Coliformes.....	120
Grafico 19: Línea de tendencia Polinómica para el pH a 18.7°C.....	120
Grafico 20: Línea de tendencia Polinómica para la conductividad.....	121
Grafico 21: Conductividad multiplicada por 100 vs Turbiedad.....	122
Grafico 22: Tendencia polinómica de la Dureza.....	122
Grafico 23: Tendencia polinómica de la Dureza vs magnesio.....	123
Grafico 24: Tendencia polinómica del contenido en cloruros.....	124
Grafico 25: Contenido en sulfatos.....	124
Grafico 26: Contenido en nitratos.....	125
Grafico 27: Tendencia polinómica del contenido en metales.....	125

FOTOS

Foto 1: Vegetación típico de la subcuenca.	31
Foto 2: Planicie en la parte baja del cerro el Toro.	35
Foto 3: Lomadas en la localidad de CP Rejopampa.....	36
Foto 4: Ladera en la localidad de El Lirio.....	36
Foto 5: Escarpas en el cauce de la Quebrada Uñigan.	37
Foto 6: Escarpas cerca al distrito de Sorochuco.	38
Foto 7: Escarpas, ladera y planicie en el cerro el Chivo.....	38
Foto 8: Dolinas en la formación Pulluícana	42
Foto 9: Dolinas en la formación Pulluícana	43
Foto 10: Sumidero formación Pulluícana.....	43
Foto 11: Lenares en la formación Pulluícana	44
Foto 12: Caliza fosilífera formación Pulluícana.....	46
Foto 13: Caliza fosilífera de la formación Pulluícana.....	47
Foto 14: Lutitas amarillentas intercaladas con margas de la formación Pulluícana.....	47
Foto 15: Lutitas gris amarillentas.	47
Foto 16: Volcánico Porculla y la formación Pulluícana (Muestras caliza y andesita porfiritica).	48
Foto 17: Depósitos Coluviales Localidad del Faro Bajo.	49
Foto 18: Depósitos Fluviales Localidad de Faro Bajo.....	50
Foto 19: Depósitos Aluviales Localidad Cochapampa.....	51
Foto 20: Dique dacítico, cerro Chocta.....	52
Foto 21: Mármol entre la formación Pulluícana y el volcánico Porculla	52
Foto 22: Ubicación falla Chocta.	55
Foto 23: Material de falla y plano de falla en la falla el Toro.....	56
Foto 24: Estrías de fallamiento con mineralización de calcita falla el Carbón.....	56
Foto 25: Vista panorámica de la falla la clara	57
Foto 26: Vista panorámica falla Uñigan.	58
Foto 27: Estaciones estructurales E-01, E-02 y E-03.....	59
Foto 28: Macizo rocoso en la estación E-04.....	61
Foto 29: Macizo rocoso de la estación E-05.....	62
Foto 30: Macizo rocoso en la estación E-07.....	65
Foto 31: Macizo rocoso en la estación E-08.....	66

RESUMEN

La presente investigación está enfocada al estudio de las geoestructuras, unidades geomorfológicas y su relación con la hidrogeología en la parte inferior de la subcuenca Chirimayo, ubicado en el distrito de Sorochuco, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca. Se describe las principales unidades geomorfológicas encontradas como planicies, lomadas, laderas y escarpas en función de su grado de pendiente. Se determinó la presencia de exokarst como sumideros, dolinas, y lenares o lapiaces.

La geología local está determinada por la formación Pulluícana en la mayoría del área de investigación, depósitos coluviales, depósitos aluviales y el volcánico porculla en las partes altas de la subcuenca, estudiadas y mapeadas en una escala 1:20 000. Y también se logra determinar presencia de metamorfismo en los contactos de la formación Pulluícana con el volcánico Porculla.

Estructuralmente las fallas principales se presentan siguiendo una orientación SW-NE (falla el chivo, falla Atumpampa, falla el faro, falla Sorochuco, falla el toro) y con orientación NW-SE (falla la Ramada, falla Chogopampa, falla artesa, falla Uñigan, falla la clara, falla el ingenio, falla rejo, y la falla Condorcana).

Se realizó un mapeo de los manantiales, ríos, quebradas y lagunas tomando coordenadas en el sistema WGS84_Zone_17S y se realizó un análisis fisicoquímico y bacteriológico a 7 muestras tomadas estratégicamente en campo.

PALABRAS CLAVES: hidrogeología, estructuras, geomorfología, acuífero, manantial, karst.

ABSTRACT

The present research is focused on the study of geostructures, geomorphological units and their relationship with hydrogeology in the lower part of the Chrimayo basin, located in the district of Sorochuco, province of Celendín, department of Cajamarca. It describes the main geomorphological units found as plains, hills, slopes and cliffs depending on their degree of slope. Mapping the exokarst found in the research area such as sinks, sinkholes and lenares or lapiares.

The local geology is determined by the pulluic formation in most of the research area, colluvial deposits, alluvial deposits and the volcanic porculca in the upper parts of the sub-basin, studied and mapped on a scale of 1:15 000. And it is also possible to determine Presence of metamorphism in the contacts of the pulluican formation with the volcanic Porculca.

Structurally the main faults are presented following a SW-NE (failure of the goat, failure atumpampa, failure of the lighthouse, failure of the faucet, failure of the bull) and NW-SE orientation (ramada failure, chogopampa failure, trough failure, , The clear fault, the ingenuity fails, the fault fits, and the condorcana fault).

A mapping of the springs, rivers, streams and lagoons was made taking coordinates in the WGS84_Zone_17S system and a physicochemical and bacteriological analysis was carried out to 7 samples taken strategically in the field.

KEY WORDS: hydrogeology, structures, geomorphology, aquifer, spring, karst.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la parte media e inferior de la subcuenca Chirimayo encontramos la formación Pulluicana y los volcánicos porcullos las cuales reciben las descargas hídricas superficial y subterránea, los mismos que están conformando ríos, riachuelos, quebradas y manantiales, que dan las características hidrogeológicas a la zona de investigación; a partir de este punto de vista se hace de mucha importancia conocer la relación entre las características geoestructurales de la formación Pulluicana con los acuíferos y manantiales en la parte inferior de la subcuenca Chirimayo; las geoestructuras y las geoformas presentan una relación debido a que son condicionantes para la presencia de manantiales y acuíferos, determinando su calidad y composición química de acuerdo al medio con el que interactúan.

La investigación permitirá conocer las relaciones entre la geología, hidrogeología y la cantidad de manantiales, así como también ayudará a definir las características geoestructurales y su relación con la presencia de acuíferos y manantiales presentes en la parte inferior de la subcuenca del Río Chirimayo; en donde el recurso hídrico es utilizado para captaciones de sistemas de agua potable, regadío y ganadería para las comunidades, por lo cual es importante conocer la interacción de las aguas subterráneas y las geoestructuras, ambientes geológicos los que condicionan la calidad, cantidad y la vulnerabilidad de las mismas frente a sustancias contaminantes en las aguas superficiales y subterráneas.

El estudio se orienta en la evaluación geoestructural, con énfasis en la calidad química de los manantiales asociados con los acuíferos, debido a que en la zona de investigación los estudios existentes son de carácter regional, y existe poca información disponible en la subcuenca, La investigación proporcionará información importante para los pobladores de la zona, así como también servirá como una línea base hidrogeológica y geoestructural.

En la presente investigación se realizará la evaluación geoestructural y su relación hidrogeológica de la parte inferior de la subcuenca del Rio Chirimayo; mediante el cartografiado geológico – estructural, la ubicación de manantiales, la relación de los acuíferos con los manantiales considerando las geoestructuras, determinando la composición y calidad química de manantiales y ríos, definiendo las zonas de recarga en la parte media - superior y la descarga en la parte inferior de la subcuenca del Rio Chirimayo.

La investigación se desarrolla en los siguientes capítulos.

Capítulo I. se detalla la metodología de la investigación.

Capítulo II. en esta sección se desarrolla las bases teóricas que se tomó en cuenta para el desarrollo de la investigación.

Capítulo III. en esta sección se describe la metodología utilizada para el desarrollo de investigación en las diferentes etapas.

Capítulo IV. en este capítulo se detallan aspectos principales del área de investigación como ubicación, accesos y clima.

Capítulo V. en esta sección se muestran los modelos digitales de la zona de investigación y aspectos geomorfológicos como son relieves, unidades geomorfológicas y las estructuras kársticas.

Capítulo VI. en esta sección se detalla la geología local, formación pulluicana y el volcánico porculla, y algunos depósitos cuaternarios y una intrusión dacítica y algunas rocas metamórficas.

Capítulo VII. esta sección se enfoca a estudiar y describir las principales estructuras presentes en el área de investigación como son fallas, mediante estaciones estructurales tomadas directamente en campo.

Capítulo VIII. En este capítulo se evalúa la hidrogeología en base a balance hidrológico, registro de manantiales medida de caudales y toma de muestras de algunas fuentes de agua.

Capítulo IX. en este capítulo se desarrolla la interpretación y análisis de los resultados obtenidos en los diferentes capítulos anteriores y resultados del procesamiento de la información a través de diferentes softwares y análisis fisicoquímico y bacteriológico de muestras de agua.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cantidad y calidad del recurso hídrico en los últimos años ha tomado un gran interés desde el punto de vista de su gestión, uso adecuado y utilidad; ya que es fundamental para el desarrollo de las localidades y lugares en donde se cuenta con este importante recurso. Por ello es importante evaluar la cantidad y la calidad de este recurso para su gestión y uso adecuado.

En la parte inferior de la subcuenca Chirimayo encontramos la formación Pulluícana la cual recibe las recargas de escorrentía superficial y subterránea de las zonas altas de la subcuenca para descargar en la zonas bajas conformando ríos, riachuelos, quebradas y manantiales, que dan las características hidrogeológicas de la zona; geoformas que presentan relación directa con las geoestructuras, que condicionan la presencia de acuíferos y manantiales, determinando la calidad de las aguas de acuerdo al medio con el que interactúan o los distintos materiales rocosos por donde discurren.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la relación entre las características geoestructurales de la formación Pulluícana con los acuíferos y manantiales en la parte inferior de la Subcuenca Chirimayo?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de Tesis y los resultados serán de suma importancia para conocer con más detalle las relaciones entre la geología, hidrogeología y la cantidad de manantiales presentes en la zona de investigación, además permitirá definir las características geoestructurales y su relación con la presencia de acuíferos y manantiales en la parte inferior de la Subcuenca del Río Chirimayo.

Las aguas de la parte media e inferior de la subcuenca Chirimayo son utilizadas para consumo humano, regadío y ganadería por las comunidades que se encuentran dentro de la zona de investigación. Por lo cual es importante analizar la

interacción de las aguas subterráneas y las geoestructuras, ambientes geológicos que condicionan la calidad, cantidad y vulnerabilidad de las mismas fuentes a sustancias contaminantes en las aguas subterráneas y superficiales.

1.4. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se enmarca en la evaluación geoestructural, con énfasis en la calidad química de los manantiales asociados con los acuíferos, de la parte inferior de la subcuenca Chirimayo.

Dado que la información geológica existente es de carácter regional, y existe escasa información puntual disponible en la subcuenca, la presente investigación proporcionará información requerida por los usuarios de la zona, sin embargo, también servirá como línea base hidrogeológica y geoestructural.

1.5. LIMITACIONES

Para contar con información detallada será necesario realizar estudios específicos, los que deberían ser apoyados con equipos para estudios geológicos, estructurales e hidrogeológicos con levantamiento de información de acuíferos en su génesis, estructuras y comportamiento hidráulico, lo cual es costoso y está fuera del alcance de la tesis.

Dada la imposibilidad de financiar los equipos o su alquiler, para ejecutar pozos de perforación y con ello realizar la evaluación hidrogeológica real, se realizará el cartografiado geológico y la ubicación de los manantiales existentes en el área de trabajo, con su respectivo análisis físico químico.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. GENERAL

- Realizar la evaluación geoestructural y su relación hidrogeológica de la parte inferior de la subcuenca Chirimayo.

1.6.2. ESPECIFICOS

- Cartografiado geológico-estructural de la zona de estudio.
- Ubicar los manantiales en la parte inferior de la subcuenca Chirimayo.
- Determinar la relación de los acuíferos con los manantiales considerando las geoestructuras que se encuentran en zona de investigación.
- Determinar la composición y calidad química de las aguas de los manantiales y ríos existentes en la parte inferior de la subcuenca Chirimayo.
- Definir las zonas de recarga en la parte media - superior y la descarga en la parte inferior de la subcuenca Chirimayo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

- INGEMMET Boletín N° 38 (1980), realizan un estudio regional del área de investigación. Realizando el cartografiado del cuadrángulo de Celendín a escala 1:100,000 realizado por geólogos del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú.
- KNIGHT PIESOLD CONSULTORES (2010). Determinaron algunos parámetros geomorfológicos de la subcuenca Chirimayo, evaluaron los caudales presentes en la quebrada Chirimayo en la parte alta, en las diferentes estaciones del año. La entidad realizó un registro histórico de la calidad del agua superficial en ríos y quebradas registrando parámetros fisicoquímicos, parámetros inorgánicos, metales disueltos, metales totales, parámetros orgánicos, parámetros microbiológicos y parámetros de campo, como el pH y temperatura.
- ALAYA, F. (2012). Menciona que el centro poblado la Chorrera, estructuralmente se encuentra controlado por dos fallas principales; falla la Chorrera, falla el Tingo y los anticlinales Alforja cocha y Hilo rico. Además, realizan un inventario de manantiales, acuíferos y lagunas del área de investigación.
- DAVIES B. (2002). Realiza un estudio detallado de la geología y la mineralogía de los centros magmáticos de la carpa con un contenido de rocas intrusivas y extrusivas, el pórfido Cu – Au – Mo de galeno y las intrusiones porfirítica de Minas Conga. También realizó un estudio los principales centros mineralógicos de cercanos a la ciudad de Cajamarca, realizó dataciones radiométricas de las diferentes rocas de las diferentes zonas mineralizadas.

2.2. TEORÍAS REFERENTES AL TEMA DE INVESTIGACIÓN

2.2.1. BREVE HISTORIA DE LA HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología comienza desde hace muchos años atrás S. N. Davis menciona que la necesidad de agua en las localidades secas de Asia da comienzo a la construcción de pozos y galerías de captación de agua. También en la biblia en el libro de génesis hace referencia a pozos de agua.

Los chinos de la antigüedad desarrollaron un sistema de perforación a percusión para pozos, construyendo pozos de grandes profundidades. Bowman cita un pozo de 1200 m de profundidad, Tolman cita otro pozo de 1500 m.

La construcción de kanats hace más de 2500 años en irán, realizados para la captación de aguas subterráneas consistía en grandes galerías de infiltración que drenaban el agua de los conos de deyección y de las rocas sedimentarias blandas. Bernard Palissy (1509 – 1589) fue quizá el primero en poseer una visión profunda del moderno ciclo hidrogeológico del agua.

Pierre Perault (1608 – 1680) midió la altura de las precipitaciones en la cuenca del río Sena durante los años 1663 – 1669 y 1670, obteniendo como resultado una media anual de 520 mm; posteriormente evaluó el valor de aportación superficial anual de la cuenca. Perrault estudio, además, la evaporación y los fenómenos relacionados con el desplazamiento del agua por acción de las fuerzas capilares, llegando a comprobar que el ascenso por capilaridad no podía nunca llegar a formar un cuerpo de agua libre saturado por encima del nivel freático, y que la altura del nivel capilar en el caso concreto de la arena era menor de un metro. Marriotte (1620 - 1684) midió el valor de la infiltración del agua de la lluvia a través del suelo en un sótano del observatorio de París. Comprobó que esta infiltración variaba en función de las lluvias de igual modo que el caudal de los manantiales. Llego así a la conclusión de que las fuentes podrían estar perfectamente alineadas a partir del agua de lluvia que se infiltraba en el subsuelo.

Unos años después el famoso astrónomo británico, Edmundo Halley (1656 – 1742), publicó una serie de estudios acerca de la evaporación en el mar mediterráneo. Luego a inicios del siglo XVIII el filósofo y científico Sheikh Abu Raihan al-Biruni (973 - 1048) dio una explicación mecánicamente correcta sobre los pozos surgentes.

Henry Darcy (1803 - 1858), ingeniero francés fue quien estableció la ley matemática que gobierna el flujo del agua subterránea. El desarrollo de su fórmula fue el resultado de un conjunto de experiencias que el mismo realizó con filtros de arena.

2.2.2. HIDROGEOLOGÍA

Según Davis S. y J.M de Weist (1971). Define la hidrogeología como el estudio de las aguas subterráneas cuyo énfasis recae sobre su aspecto químico, circulación y circunstancias geológicas condicionantes.

El término hidrogeología fue utilizado en 1802 por el geólogo naturalista francés Lamarck. Lamarck atribuye un término casi idéntico al de geología hídrica de Powell, quien la definió como el estudio de los fenómenos de degradación (erosión) y deposiciones geológicas debido a la acción del agua. Sin embargo, ninguno de estos términos fue utilizado. Lucas, en 1879, fue probablemente el primero que utilizó el término de “hidrogeología” para designar el estudio geológico del agua subterránea. Mead en su libro de hidrogeología publicado por primera vez en 1919, fue quien definió por primera vez este término “hidrogeología” como el estudio de las leyes relativas a la existencia y movimiento de las aguas subterráneas. Mead en esta definición “presupone un estudio de la geología general lo suficientemente adecuado como para una visión que permita comprender los factores hidrológicos condicionantes e imperativos debidos a los factores geológicos”.

Mead, en su definición acentuó el carácter especial del “estudio del agua subterránea considerada como un elemento geológico cuyo conocimiento contribuye a lograr la comprensión del origen y evolución de los cursos superficiales de agua y de los sistemas de drenaje”.

Posteriormente, Meinzer subdividió la ciencia hidrológica en hidrología de superficie y hidrología subterránea (o geohidrología). Para Meinzer la hidrología, es la ciencia que se ocupa especialmente del estudio del ciclo hidrológico completo del agua, desde el momento en que esta cae desde la atmósfera a la tierra hasta que desemboca en el mar o vuelve a la atmósfera.

Maxey (1964), define la hidrogeología como el estudio de las interacciones entre el agua y las disposiciones geológicas del subsuelo. El agua subterránea implica el estudio de aquella parte del agua del ciclo hidrogeológico en los primeros miles de metros de la corteza terrestre.

2.2.3. CONTROLES GEOLÓGICOS

(Davist, De Wiest, 1966). EL agua subsuperficial satura el medio a través del cual se mueve y en el cual es almacenada. No se incluye como agua en el medio saturado, aquellos pequeños cuerpos de agua transitorios que pueden ser el resultado de infiltraciones muy altas durante períodos muy lluviosos. Su ocurrencia se da en varios tipos de espacios abiertos en las rocas, tales como fisuras, intersticios entre los granos, fracturas y diaclasas; debido a las diferencias de presión hidrostática esta agua, está en continuo movimiento. Se puede decir entonces que la existencia, movimiento y almacenamiento del agua subterránea están controlados por la secuencia, litología, espesores y estructura de los materiales que forman la tierra. El movimiento y la capacidad de almacenamiento son controlados por la permeabilidad (que mide la habilidad del agua para moverse a través del medio poroso) y la porosidad (relación de vacíos y volumen total de material). Se puede definir, entonces, un acuífero como una unidad litológica que contiene agua en cantidades apreciables y que además la deja circular. (Vélez M. 1999)

Los acuíferos pueden presentarse en cuatro distintas formaciones geológicas:

- a) Depósitos de gravas y arenas no consolidadas, intercalados frecuentemente con estratos de limos y arcillas, con pocas unidades de carbonatos.

- b) Formaciones consolidadas y semiconsolidadas de conglomerados y areniscas, que tienen permeabilidad y porosidades primarias (intergranulares) y secundarias (fracturas y diaclasas).
- c) Formaciones carbonatadas que tienen fisuras y fracturas, que pueden ensancharse por disolución. Tienen porosidades y permeabilidades primarias muy pequeñas.
- d) Rocas ígneas y metamórficas con fisuras y fracturas que permiten el almacenamiento y circulación del agua.

EFFECTOS DE LA ESTRATIGRAFÍA Y LA SEDIMENTACIÓN

Las formaciones sedimentarias se disponen una sobre otras. Ellas mismas son estratificadas y consisten en una sucesión de capas o lechos, que yacen unos sobre otros. Ver Figura 01. Estas capas pueden diferir en composición, textura y grado de consolidación. La estratificación refleja los cambios en las condiciones físicas y químicas que ocurren durante la depositación. (Vélez M. 1999)

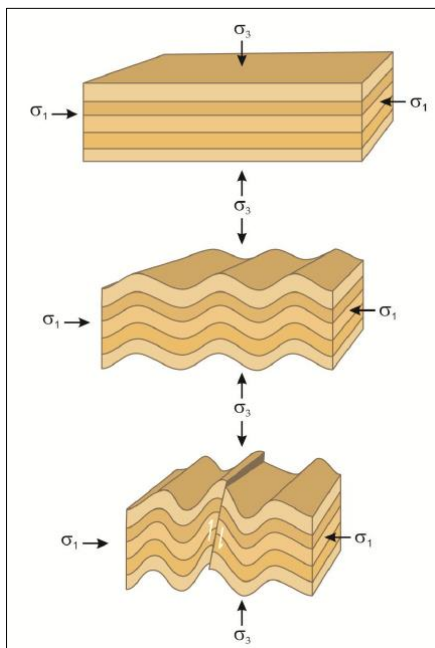


Figura 1: Estratificación de las rocas sedimentarias, con tensor de esfuerzos (J. Lillo & R. Oyarzun 2013).

Muchas unidades sedimentarias persisten a través de áreas grandes, sin embargo, cambian gradualmente de un lugar a otro, reflejando diferencias locales en el ambiente geológico. Por ejemplo, un río deposita material grueso en las partes altas de la cuenca y materiales finos en las partes bajas.

La inclinación o buzamiento de los estratos puede deberse a depositación en pendiente o a deformaciones posteriores. Los depósitos aluviales tienen ligeros buzamientos con dirección aguas abajo de las corrientes y los depósitos lacustres o costeros, y se vuelven casi horizontales a medida que se alejan de la costa.

Lo anterior implica la necesidad de conocer la disposición de los estratos para determinar las zonas de permeabilidades altas con sus respectivos espesores.

2.2.4. CONTROLES ESTRUCTURALES

PLEGAMIENTOS.

J. Lillo & R. Oyarzun (2013), Los estratos constituyen un pliegue tipo sinclinal o anticlinal solo depende de si la curvatura apunta hacia arriba (anticlinal) o hacia abajo (sinclinal). Estos plegamientos introducen mucha incertidumbre en la localización de pozos productivos, siendo necesario obtener datos de campo en muchos puntos de un área dada, para obtener un mapa que muestre las unidades más permeables y la posición de los niveles piezométricos.

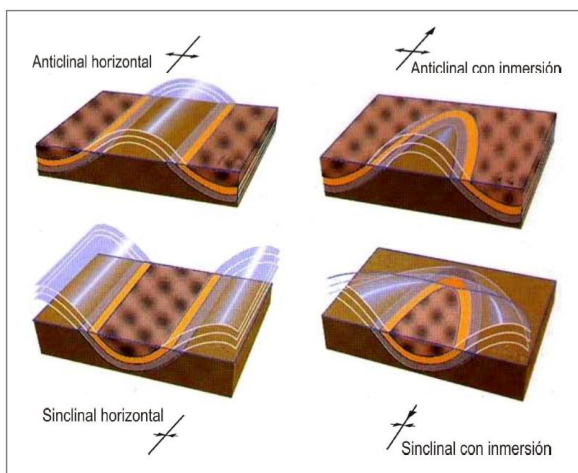


Figura 2: Formas posibles de plegamiento simétrico y su simbología cartográfica (J. Lillo & R. Oyarzun 2013)

FISURAS Y FRACTURAS.

Las fisuras ocurren generalmente en rocas duras y masivas como resultado de esfuerzos de tracción y compresión producidos por los movimientos de la tierra.

El espaciamiento y continuidad de las fisuras y fracturas es muy variable. Las fisuras verticales son importantes "ductos" conductores de agua. Donde hay un estado de fisuración bien desarrollado, el espaciamiento de este tipo de fisuras según datos de campo puede variar entre tres y siete pies, y puede alcanzar profundidades hasta 50 pies. Las fisuras horizontales son más espaciadas que las verticales, decreciendo en número con la profundidad. Su continuidad rara vez excede los 150 pies (Meinzer, 1923). Se desarrollan más en las pendientes que en los valles.

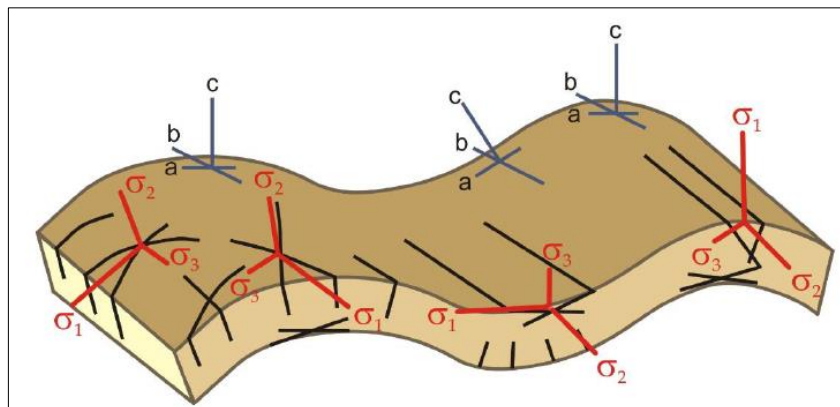


Figura 3: Distribución de tensores de esfuerzos en un estrato plegado, y formación de diaclasas y microfracturas según estos tensores (J. Lillo & R. Oyarzun 2013).

FALLAS.

Una falla es una zona de fractura a lo largo de la cual hay desplazamientos diferenciales. Las fallas son de tres tipos: normal, inversa y de rumbo. Ver Figura 04.

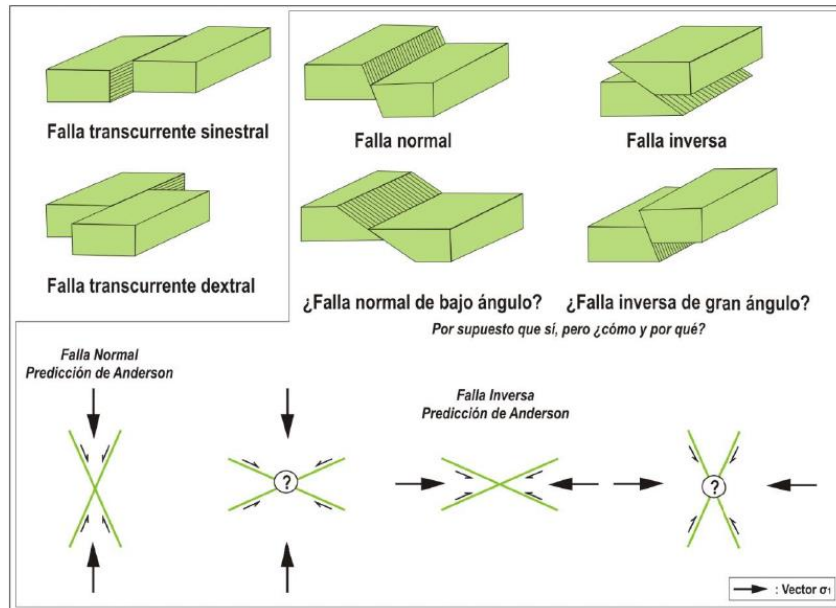


Figura 4: Tipos de fallas principales (J. Lillo & R. Oyarzun 2013).

Las fallas pequeñas afectan muy poco el agua subterránea a menos que como las fracturas, sirvan de pequeños lugares de almacenamiento. Las fallas de extensión, desplazamiento y profundidades considerables, afectan la distribución y posición de los acuíferos. Pueden actuar, ya sea como barreras o como conductos de agua, Figura 05.

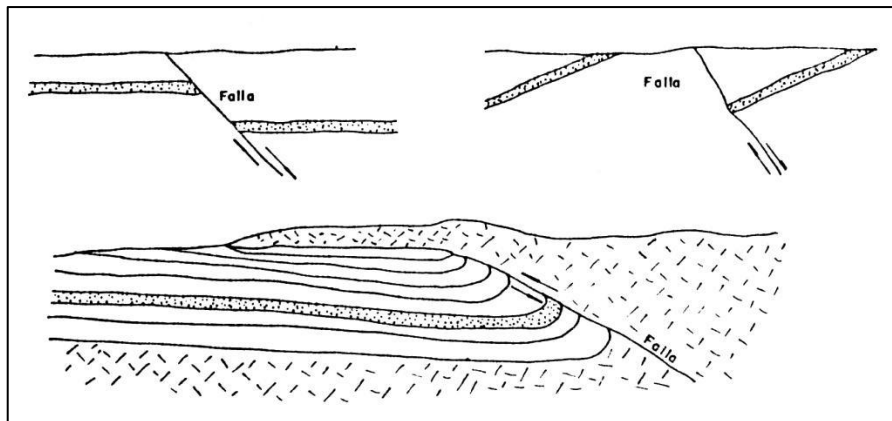


Figura 5: Posibles efectos de una falla sobre la posición de los acuíferos (Meinzer, 1923).

En vez de una falla simple y bien definida, puede haber una zona de falla con numerosas fallas paralelas y masas de rocas fracturadas y pulverizadas, llamada brecha de falla. Tales zonas pueden también servir como conductos o barreras para el agua (Tolman, 1937).

Las fallas afectan las condiciones del agua subterránea, no solamente desplazando unidades de alta permeabilidad, sino también modificando la altitud y topografía de la superficie en los lados opuestos de la falla. Por ejemplo, el lado elevado de una falla, puede producir una escarpa. También puede haber cambios que se traducen en la depositación de material altamente permeable en el lado bajo de la falla, causado por erosión de las rocas expuestas en el lado superior, tal como se observa en la Figura 06.

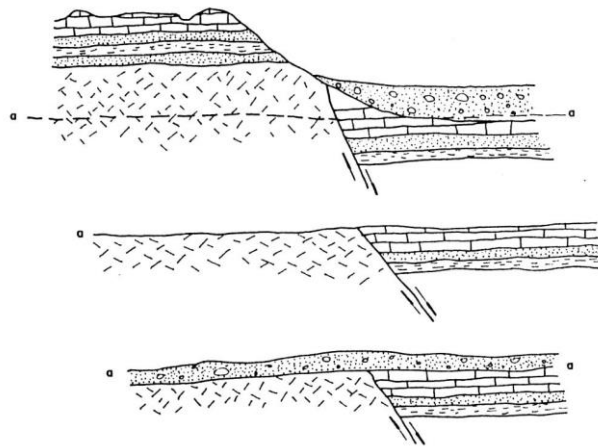


Figura 6: Acuíferos formados por la erosión de las escarpas. (Meinzer, 1923).

Con el tiempo, la erosión de la escarpa puede remover cualquier evidencia topográfica de su existencia. Eventualmente puede ser cubierta por depositación de sedimentos jóvenes sobre el área.

La depositación de material a lo largo de la falla reduce la permeabilidad. Sin embargo, las fallas también pueden actuar como conductos para el flujo. En regiones donde éstas tienen profundidades considerables, las fisuras y fracturas asociadas a ellas permiten el ascenso del agua, dando origen a las llamadas aguas termales.

2.2.5. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS FUNDAMENTALES

POROSIDAD

Según Davist De Wiest (1966), Los espacios abiertos, vacíos o intersticios en las rocas son los receptáculos para almacenamiento y circulación del agua subterránea. Son de dos tipos:

- a) Poros intergranulares (primarios): se encuentran en rocas sedimentarias clásticas consolidadas o no.
- b) Poros que resultan de fisuras y fracturas, formando dos grupos:
 - Rocas estratificadas fisuradas que pueden sufrir disolución, formando canales a lo largo de las fracturas y planos de estratificación (evaporitas, calizas, carbonatos).
 - Rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, que son capaces de almacenar y transmitir agua por medio de las fisuras y fracturas.

La manera como esos poros están intercomunicados entre sí define lo que se denomina permeabilidad o conductividad hidráulica, que mide la "habilidad" del agua para circular por las diferentes formaciones geológicas. Lo anterior significa que un material puede tener porosidad muy alta (Arcillas) y sin embargo su permeabilidad ser nula, ya que los poros no están intercomunicados.

PERMEABILIDAD O CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

La permeabilidad es el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura de la misma, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica. Dentro de este concepto pueden definirse otros dos. La permeabilidad efectiva o conductividad efectiva, es la que está en función tanto de las características texturales del medio físico como del fluido que transmite,

representada por el coeficiente de permeabilidad (k), y la permeabilidad intrínseca (K), depende de las características internas del medio permeable.

La permeabilidad efectiva k se define como el caudal que es capaz de atravesar una sección unitaria del acuífero, normal al flujo, bajo un gradiente piezométrico unitario. Depende tanto de las características del medio físico (acuífero), como de las del fluido que lo atraviesa (agua). Las unidades más usadas para la medición son cm/s y m/día

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Gonzales V. (2004). Menciona que es la capacidad para liberar agua de un acuífero. Definiéndolo como el volumen de agua que es capaz de liberar un prisma de base unitaria y de la altura del acuífero, cuando desciende 1 m el nivel piezométrico. Es un parámetro físico referido al volumen cedido por unidad por unidad de volumen de acuífero y, es adimensional. Las formaciones geológicas permeables liberan agua de manera distinta según su situación en la naturaleza y el estado de sus niveles piezométricos. Así se puede distinguir formaciones o acuíferos en funcionamiento confinado o acuíferos en funcionamiento libre.

2.2.6. FORMACIONES GEOLÓGICAS Y SU COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA.

Luis I. Gonzales de Vallejo (2002) menciona que los acuíferos deben ser entendidos como formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de almacenar y transmitir agua, Encontrando en la naturaleza diversas formaciones con capacidades diferentes para almacenar y transmitir el agua.

Los materiales con la capacidad de almacenar y transmitir agua (gravas, arenas, minerales calizos entre otros); son formaciones con capacidad de drenaje alto a estos materiales con estas características se les denomina acuíferos. Los acuitardos son materiales que tienen la capacidad almacenar el agua en grandes cantidades, pero la transmiten con dificultad; estas pueden ser formaciones semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas). Los acuícludos tienen

la capacidad de almacenar grandes cantidades de agua, pero no tienen la capacidad de transmitirlo y se drenan con mucha dificultad; las aguas de estos materiales se encuentran encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos); algunos autores mencionan que como impermeables. Las formaciones incapaces de almacenar y transmitir el agua; están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises y a veces calizas muy compactas sin clasificar; salvo que estas formaciones presenten fracturas que puedan transmitir el agua. A continuación, se muestra el comportamiento del agua frente a las formaciones geológicas.

	Capacidad de almacenar	Capacidad de drenar	Capacidad de transmitir	Formaciones características
ACUÍFEROS	ALTA	ALTA	ALTA	Gravas, arenas, calizas
ACUITARDOS	ALTA	MEDIA/BAJA	BAJA	Limos, arenas limosas y arcillosas
ACUICLUDOS	ALTA	MUY BAJA	NULA	Arcillas
ACUÍFUGOS	NULA	NULA	NULA	Granitos, gneises, mármoles

Figura 7: Formaciones geológicas frente al agua (Luis I. Gozales de Vallejo 2004)

2.2.7. TIPOS DE ACUÍFEROS Y SU COMPORTAMIENTO.

LOS ACUÍFEROS POROSOS

Los denominados acuíferos porosos, cuya permeabilidad es debida a su porosidad intergranular, entre ellos se encuentran las gravas, arenas, arcosas y, en general, todos los materiales detríticos con tamaño de grano de arena como mínimo. La textura del medio está constituida por granos, permitiendo que el agua se almacene y circule por los huecos intergranulares; dichos huecos pueden estar rellenos de material granular muy fino, disminuyendo las características del medio para el almacenamiento y transporte de agua, o incluso estar rellenos de materiales arcillosos, dejando prácticamente anuladas estas características. En ocasiones, los mismos granos están constituidos por material poroso que les aporta, incluso, mejores propiedades como almacén de agua. Los medios granulares, dada su

génesis, suelen ser muy homogéneos a escalas reducidas, Luis I. Gonzales de Vallejo (2002).



Figura 8: Acuíferos de porosidad primaria o porosos (Collazo M. Montaña J. 2012)

ACUÍFEROS KÁRSTICOS Y FISURADOS

Aquellos cuya permeabilidad es debida a grietas y fisuras, tanto de origen mecánico como de disolución, forman en conjunto los acuíferos Kársticos y fisurados, y se encuentran entre ellos las calizas, dolomías, granitos, basaltos, etc., siendo los dos primeros los tipos más importantes. La Karstificación es un proceso de disolución por acción del agua en formaciones carbonatadas previamente Asuradas; los acuíferos Kársticos son poco homogéneos a pequeña escala, pero suelen presentarse más homogéneos si la escala de trabajo es suficientemente amplia, Luis I. Gonzales de Vallejo (2002)

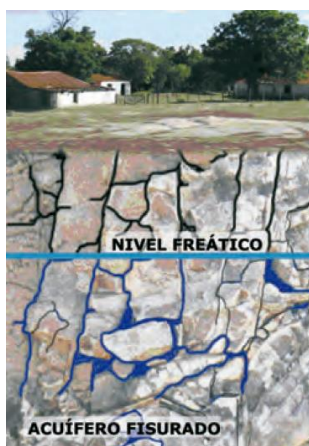


Figura 9: Acuíferos de porosidad secundaria o fisurados (Collazo M. Montaña J. 2012).

ACUÍFEROS KÁRSTICOS Y POROSOS

Por último, están los acuíferos cuya permeabilidad es debida a un conjunto de las dos anteriores causas, teniendo así los acuíferos kársticos y porosos. Son típicas las calcarenitas, Luis I. Gonzales de Vallejo (2002)



Figura 10: Acuiferos kársticos por disolución (Collazo M. Montaña J. 2012)

2.2.8. SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y ESTRUCTURALES

ACUÍFEROS LIBRES

Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es el agua que tienen almacenada; este volumen de agua es alto en comparación con los acuíferos que se citan a continuación, y por ello tienen bastante inercia. Luis I. Gonzales de Vallejo (2002)

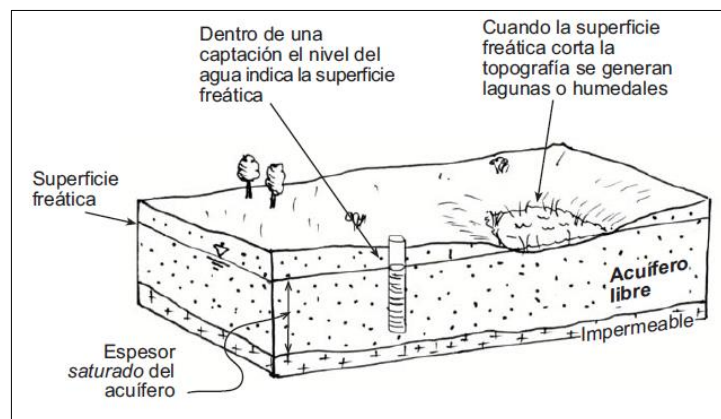


Figura 11: Acuifero libre (Sánchez San Ramón F. 2014)

ACUÍFEROS CAUTIVOS O CONFINADOS

son aquellos que están aislados en el subsuelo, rodeados de materiales impermeables por todos sus lados. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo del material acuífero; en realidad, están a presión o en carga, debido al peso de los materiales superiores. El agua que ceden procede de la descompresión de estos niveles superiores, cuando se produce la depresión en el acuífero. En rigor, no existen en la naturaleza acuíferos cautivos puros, dado que no existen materiales absolutamente impermeables capaces de aislarlos, aunque a efectos prácticos muchos se pueden considerar como tales, entre otros aquellas formaciones permeables que permanecen cautivas en una gran extensión y afloran en superficie por alguno de sus extremos. Son acuíferos rápidos, con muy poca inercia debido a su baja capacidad de almacenar agua, que reaccionan o transmiten enseguida las influencias de un bombeo puntual; los conos de bombeo suelen ser de menor altura que en los libres, pero con radios de influencia largos, Luis I. Gonzales de Vallejo (2002).

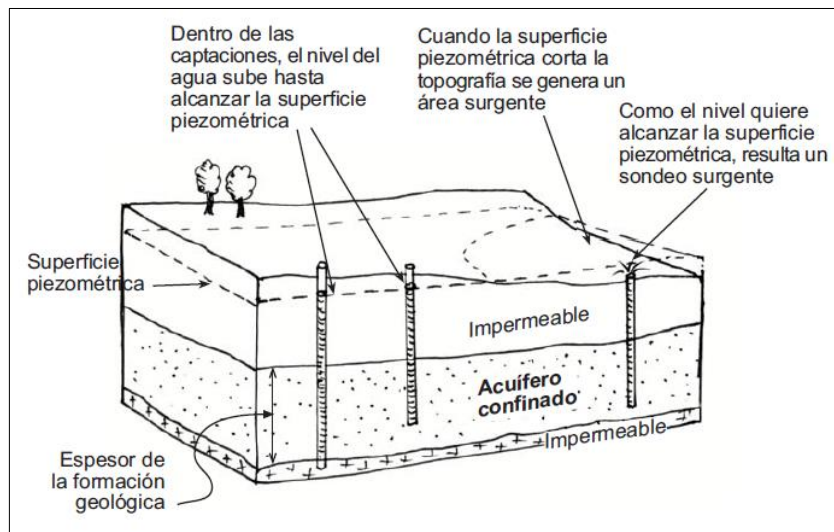


Figura 12: Acuífero confinado (Sánchez San Ramón F. 2014)

ACUÍFEROS SEMICONFINADOS

Los materiales que los rodean no son todos impermeables; así, el paquete superior o semiconfinante lo constituyen formaciones semipermeables, que permiten el paso

del agua de otros acuíferos superiores al inferior semiconfinado. Consecuentemente, la velocidad de reacción de estos acuíferos ante un bombeo es más moderada que en los cautivos y los radios de influencia tienen valores medios entre los libres y los cautivos. En realidad, un acuífero semiconfinado es un sistema físico integrado por un acuífero superior bien alimentado, un paquete semipermeable o acuitardo y un acuífero inferior semiconfinado; la diferencia de niveles entre el acuífero superior e inferior acarrea una transferencia de agua vertical que alimenta el acuífero inferior, Luis I. Gonzales de Vallejo (2002).

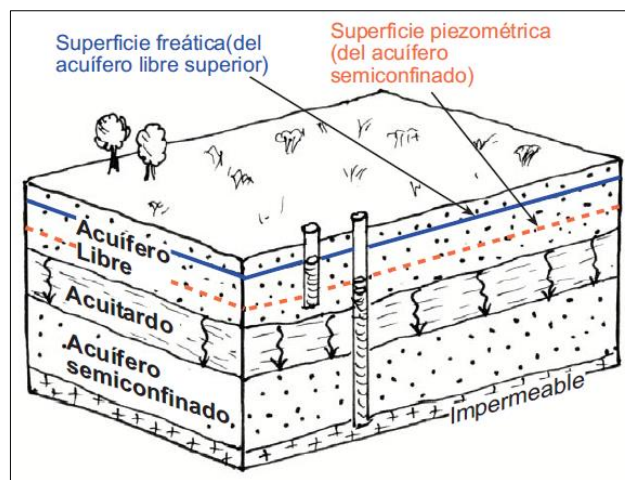


Figura 13: Acuífero libre y semiconfinado (Sánchez San Ramón F. 2014)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

ACUÍFERO.

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad. Sánchez J. (2014).

ACUITARDO.

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad. Evidentemente se trata de un concepto intermedio entre los dos anteriores. Sánchez J. (2014).

ACUICLUDO.

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella. Sánchez J. (2014).

ACUIFUGO.

Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella. Sánchez J. (2014).

AFORO.

Medición de la cantidad de agua que pasa por un determinado canal, que puede tratarse de un curso fluvial, o de un lago, laguna, vaso o presa. Dávila J. (2011).

FALLAS.

Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a éste o de ambos bloques, a través de un plano denominado "plano de falla". Las fallas son producto de esfuerzos tectónicos, producto de la epirogenesis, orogenia, diastrofismo, tectónica de placas o cualquier otro tipo de desplazamiento de parte de la corteza. Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas. Dávila J. (2012).

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.

Propiedad de las rocas o materiales de dejar pasar el calor y la corriente eléctrica. Cada roca tiene una conductividad relativa que depende del contenido de minerales y del grado de cohesión. La medición de la resistencia al paso de la corriente eléctrica permite determinar el tipo de roca que se ubica en el subsuelo. Las técnicas que se utilizan son la resistividad y la polarización inducida. Dávila J. (2012).

CAUDAL.

Son las aguas que se percolan desde los estratos superficiales del suelo hasta el subsuelo. Este fenómeno está determinado por las características topográficas del territorio, la velocidad del escurrimiento y la permeabilidad del subsuelo, Ferrer V. (1971).

INFILTRACIÓN.

Capacidad de penetración de las aguas (mayormente lluvias) en las rocas y/o suelos, o de cualquier otro fluido. La infiltración depende de la permeabilidad de las rocas y/o suelos y de la cantidad de agua de lluvia que cae sobre una determinada región.

KARST.

La palabra Karst es un término aplicado a zonas calcáreas o dolomíticas, con una topografía propia y peculiar, que es el resultado de la disolución del carbonato de calcio y de la desviación de aguas superficiales hacia causas subterráneos. (Pérez, 2008, p 7).

KARSTIFICACIÓN.

La karstificación es un proceso químico de disolución de las rocas calizas en presencia de agua y CO₂. Las formas kársticas externas (exokarst) están muy desarrolladas en todo el macizo: amplios lapiazes y abundantes dolinas, simas y sumideros de aguas. En los relieves kársticos, apenas circula agua en superficie a pesar de que las precipitaciones en la zona superan los 1700 mm/año.

MANANTIAL.

Agua que aflora en un lugar de la corteza terrestre, también se les conoce como manantes, Dávila J. (2001).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en esta investigación fue primaria, la misma que consistió en la observación, descripción, exploración y análisis de datos obtenidos en campo mediante el cartografiado geológico de unidades litoestratigráficas, unidades hidrogeológicas, estructurales. Tomando datos como: rumbo, buzamiento de estratos, fallas, diaclasas, pliegues, con los que se generaron las interpretaciones.

- El trabajo de campo permitió la ubicación de manantiales en el modelo digital del terreno a escala 1/ 15 000.
- Se trabajó con planos base como: topográfico, imágenes satelitales a diferentes resoluciones, MDE, MDT, a escalas 1: 15 000.

3.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se realizó con plan detallado y con el procedimiento adecuado para cada propósito. Previamente identificando las fuentes de donde vamos a obtener los datos y determinado el medio o método para la recolección de los datos y finalmente la preparación de dichos datos para su respectivo análisis.

3.3. ETAPA DE GABINETE

4.3.1. GABINETE I

En la etapa de gabinete se complementa de dos partes en la primera parte con la realización de la recopilación de la información bibliográfica y elaboración de un plan de trabajo de campo con el material necesario como planos geológicos a escala 1: 100 000, imágenes satelitales a escala 1:50000 plano topográfico

1/50000. Los que permitieron identificar los accesos y recorrido general de la zona investigación

4.3.2. ETAPA DE GABINETE II

Con una posterior etapa donde se logra procesar los datos obtenidos en campo como: rumbo y buzamiento de los estratos, fallas, fracturas, sinclinales, anticlinales, manantiales, quebradas los mimos que serán trasferidos a hojas Excel previamente configuradas, para elaborar los datos necesarios para luego ser trasferidos a los diferentes softwares utilizados, obteniendo como resultados los mapas temáticos

3.4. ETAPA DE CAMPO

La etapa de campo es la más importante de la investigación, debido a que nos permitirá la obtención de datos para su posterior análisis e interpretación.

Las salidas de campo tuvieron un cronograma establecido con las actividades a realizar en cada salida.

- Reconocimiento general del área de estudio, con la toma de datos de la orientación de las formaciones geológicas y estructuras, con un cartografiado a escala 1 / 30 000.
- Recolección de muestras de rocas: sedimentarias y volcánicas.
- Toma de datos como coordenadas GPS de las estaciones estructurales y de la ubicación de los manantiales en el sistema WGS_1984.
- Datos hidrogeológicos como: niveles de agua, caudales, litología.
- Datos físico químicos mediante el análisis de las muestras de agua.

3.5. SOFTWARES UTILIZADOS

Los softwares utilizados para procesar la información obtenida en campo en el presente trabajo de investigación, son programas geológicos previamente instalados en un computador.

- **ArcGIS 10.2.2:** Software para el procesamiento de información geográfica tanto raster como vectorial, permitió ingresar la información obtenida en campo de cartografiados.
- **AutoCad Civil 3D 2017:** Se utilizó para la elaboración de los planos geológicos y topográficos que sirvieron como base para el cartografiado de la zona.
- **DIP 6:** Software desarrollado por la compañía rocscience, se utilizó para el análisis estructural de datos de campo, determinado las principales tendencias de fracturas, fallas y estratos.
- **Excel 2016:** Se utilizó para ordenar la información obtenida en campo como coordenadas GPS de las estaciones geoestructurales y de los manantiales, así como también para la configuración de tablas.
- **Word 2016:** se utilizó para la elaboración del informe en donde se plasmó toda información para su posterior impresión.
- **QGIS v 2.18:** en este software se procesó la información de locclim para realizar el balance hidrológico de la subcuenca mediante modelamientos numéricos en este software.
- **LocClim v1.1:** Desarrollado por el Grupo de Agro meteorología de la FAO en el 2002. El nombre del software viene de una abreviación de Local Climate. LocClim interpola los valores de estaciones conocidas (con el método de inversa a la distancia) para darte los resultados de un punto específico.

- **MODELMUSE v 3.8.1.0:** desarrollado por la US Geological Survey (USGS) para el modelamiento de aguas subterráneas con los programas MODFLOW y PHAST. Se utilizó para realizar el modelo hidrogeológico y determinar las zonas de recarga hidrológica.
- **Golden Software Surfer v13.6.618:** Se utilizó para el modelamiento tridimensional de los modelos digitales como, modelo digital de elevaciones y modelo digital del terreno.

3.6. CONTROL DE CALIDAD

La toma de datos en la parte media e inferior de la subcuenca Chirimayo se realizó con el material y equipo necesario en los meses diciembre del 2015 a abril del 2016. Se logró el cartografiado completo de los manantiales además se calculó los caudales de cada uno de ellos mediante el método de volumen conocido, se tomó las muestras de los manantiales con mayor caudal e importancia en las comunidades para su respectivo análisis fisicoquímico en el laboratorio.

Los datos de Los datos de precipitación, temperatura, humedad, horas de sol y evaporación fueron obtenidas de SENAMHI (2013).

Los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos se realizó por la empresa prestadora de servicios SEDACAJ.

CAPÍTULO IV. GENERALIDADES

4.1. UBICACIÓN

La zona de investigación está ubicada en la parte occidental al norte de la cordillera de los andes peruanos en el Distrito de Sorochuco, Provincia de Celendín en el departamento de Cajamarca.

La zona se encuentra comprendida entre los 2000 msnm y 4100 msnm aproximadamente, delimitado por las siguientes coordenadas Datum: WGS 1984_ System: WGS 1984 UTM Zone 17S.

Tabla 1: Coordenadas de la zona de investigación

VERTICES	NORTE	ESTE
1	9237000	795000
2	9237000	805000
3	9228500	805000
4	9228500	795000



Imagen 1: Ubicación geográfica y política de la zona de investigación.

4.2. ACCESIBILIDAD

Para acceder a la zona de investigación se cuentan con varios accesos a continuación detallaremos los más utilizados.

Tabla 2: Accesos a la zona de investigación

ACCESOS	TRAMO	TIPO DE VIA	LONGITUD (Km)
01	Cajamarca - Agua Colorada	ASFALTADA	80
	Agua Colorada - Sorochuco	AFIRMADA	24
02	Cajamarca - Cruce Michiquillay	ASFALADA	40
	Michiquillay - Sorochuco	AFIRMADA	40

4.3. CLIMA

Los climas del área son húmedos a templados. Los gráficos 1 y 2, representan la temperatura mínima anual, máxima anual y la precipitación mensual respectivamente. Las precipitaciones son todas las aguas meteóricas que caen a la superficie de la tierra, tanto en forma líquida como sólida (nieve, granizos, escarcha). Por su intensidad se identifica en:

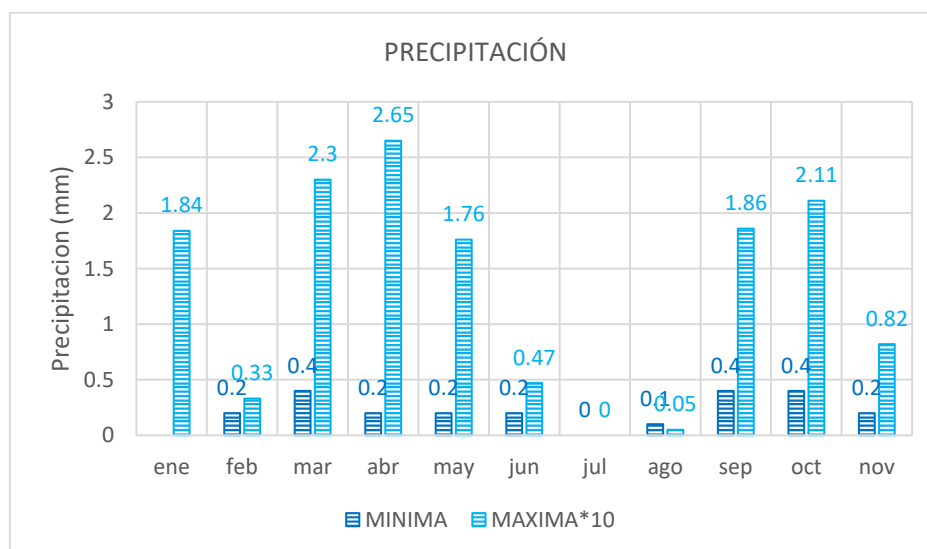


Grafico 1: Precipitación año 2015, estación meteorológica Weberbauer - Celendín.
Fuente SENHAMI

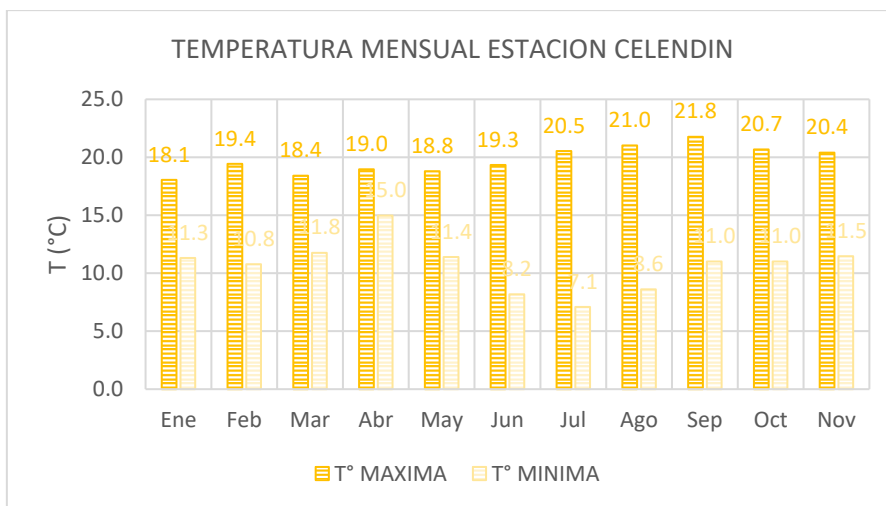


Grafico 2: Temperatura año 2015, estación meteorológica Weberbauer - Celendín.
Fuente SENHAMI.

4.4. VEGETACIÓN

En la parte baja presenta una cobertera de pastizales destinados a la crianza de animales como son vacunos, ovinos etc. y también se encuentra plantas propias del lugar.



Foto 1: Vegetación típico de la subcuenca.

En la parte alta se encuentra una cobertera en su mayoría ichu vegetación propia de las partes alto andinas del Perú. Los pobladores los destinan al pastoreo de ovejas y ganadería.

CAPÍTULO V. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología en la zona de investigación está enfocada a identificar y describir las principales unidades geomorfológicas encontradas.

5.1. MODELOS DIGITALES

En la década de los años 50 con el trabajo de Miller y Laflamme (1958) se establecen los primeros principios del uso de los modelos digitales para el tratamiento de problemas tecnológicos, científicos y militares. donde mencionan la definición del MDT “como una representación estadística de la superficie del terreno, mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas (x, y, z) conocidas, en un sistema de coordenadas arbitrario”. El objetivo de su trabajo fue acelerar el diseño de carreteras mediante el tratamiento digital de datos del terreno adquiridos por fotogrametría, planteándose una serie de los algoritmos para la obtención de la pendiente, áreas, etc.

1.6.3. MODELO DE ELEVACIONES

En este caso la palabra elevación enfatiza el concepto de medición de altura con respecto a un Datum y la generación por parte del modelo de valores absolutos de altura. La forma más común de representar digitalmente la forma de la tierra es a través de un modelo basado en celdas, conocido como modelo de elevación digital (DEM). Estos datos son utilizados en ArcGIS para cuantificar las características de la superficie de la tierra.

Un DEM es una representación gráfica de una superficie continua, usualmente referida como una superficie de la tierra. La precisión de estos datos es determinada primariamente por resolución del modelo y resulta de vital importancia para la determinación de la dirección de flujo del agua.

Los mapas de pendiente (grado o porcentaje), aspecto de la pendiente, relieve de sombras, vistas en perspectiva 3D, son algunos los productos derivados del análisis topográfico a partir de un DEM.

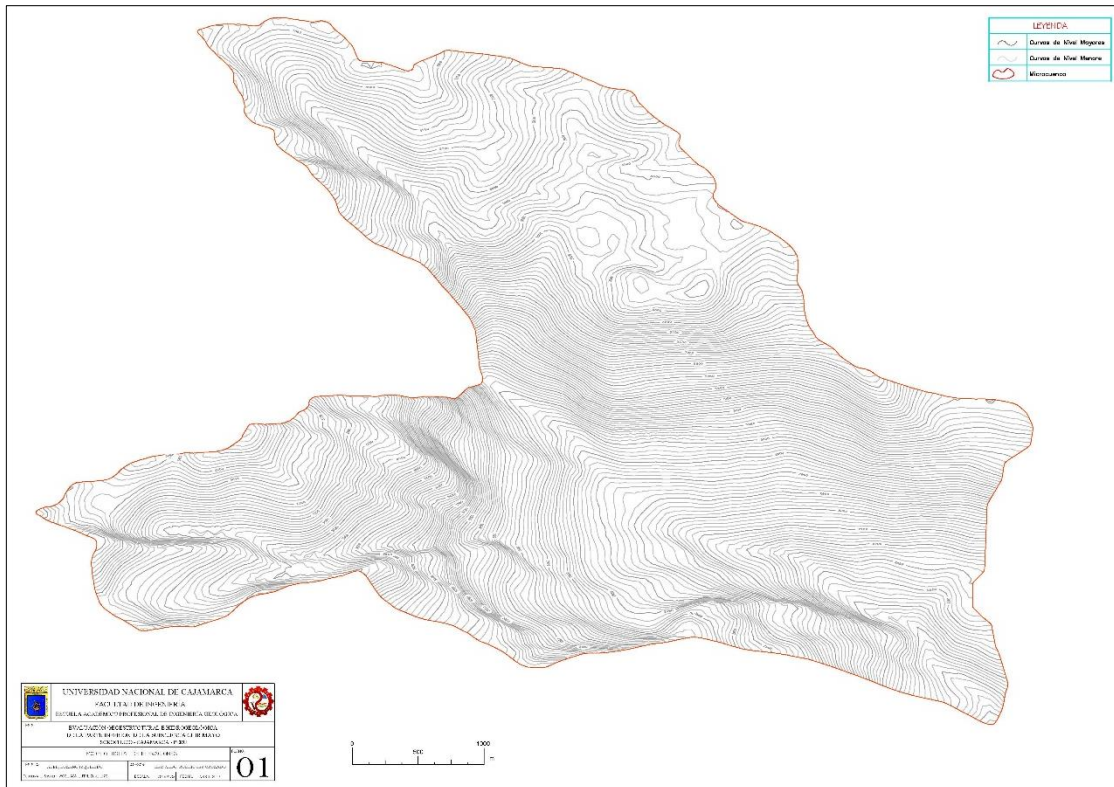


Imagen 2: Modelo digital de elevaciones.

1.6.4. MODELO DEL TERRENO

Es una representación estadística de una superficie continua del terreno mediante un conjunto infinito de puntos cuyos valores en X, Y y Z son conocidos y están definidos en un sistema de coordenadas arbitrario.

Este concepto es un tanto más generalista; ya que el eje Z incluye tanto el uso de elevaciones (Ejemplo: metros sobre el nivel del mar) como de alturas (Ej. levantamiento topográfico); así como los accidentes típicos del paisaje (Ejemplo: ríos, riscos, cañadas, etc.). Para muchos usuarios el término incluye tanto los elementos planimétricos como hipsométricos propios del paisaje; así como la información derivada a partir del modelo (Ejemplo: pendiente, intervisibilidad y orientación, entre otros).

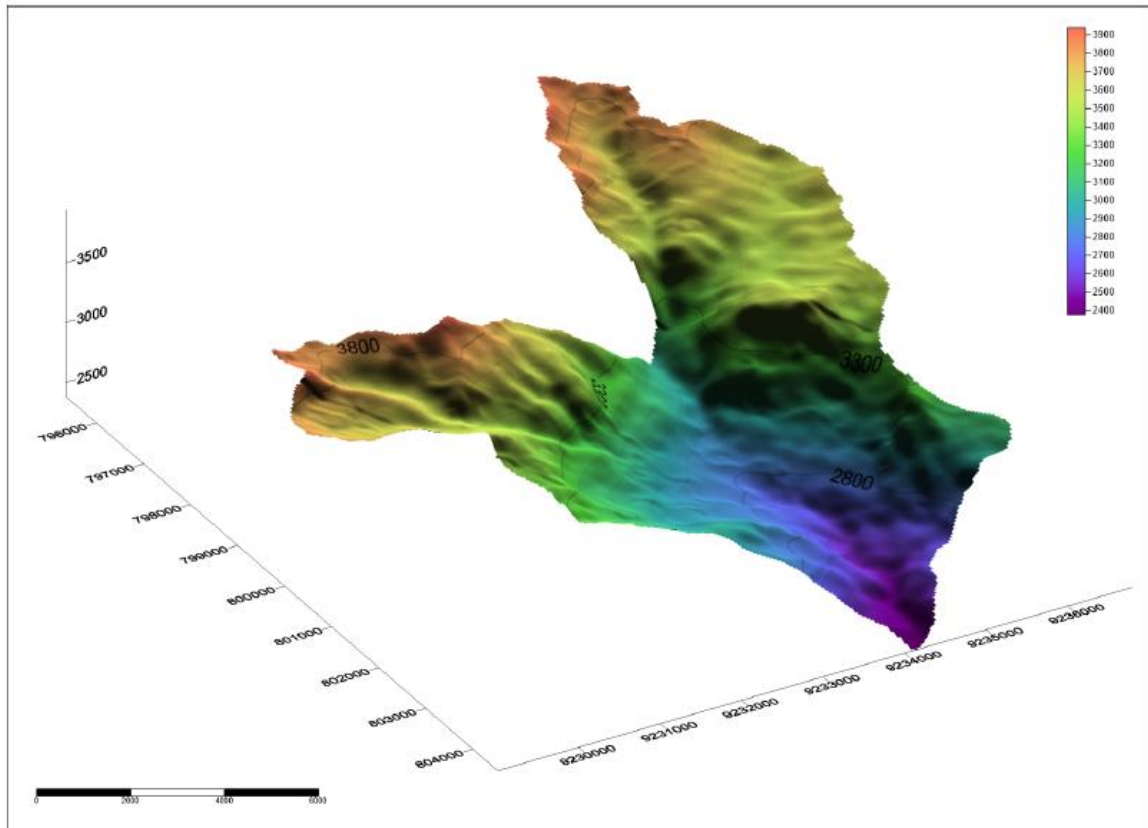


Imagen 3: Plano del Modelo Digital del terreno

5.2. UNIDADES MORFOLOGICAS

Las pendientes según Rodríguez, CR. (2016), clasifica las unidades Morfogenéticas como: planicies, lomadas, laderas y escarpas según se muestra en la tabla 02.

Tabla 3: Clasificación de unidades morfogenéticas. Fuente: Reinaldo R.

TIPO DE RELIEVE	GEOMETRIA
Planicie	0° - 8°
Lomada	8° - 20°
Ladera	20° - 50°
Escarpas	50° - >

5.2.1. PLANICIES

Las planicies en la zona de investigación están determinadas como superficies homogéneas, con pequeñas ondulaciones y suave pendiente que varía entre los 0° a 8° (ver tabla N° 02) y están distribuidas en mayor extensión en la zona Noroeste del área de investigación y estas áreas están distribuidas a lo largo de los cauces de los ríos y quebradas relacionadas con depósitos aluviales y fluvio-aluviales. Estas áreas son destinadas a actividades agrícolas y ganaderas de los pobladores.



Foto 2: Planicie en la parte baja del cerro el Toro.

5.2.2. LOMADAS

Las lomadas o colinas presentan un relieve con geoformas de tendencia domica con pendientes suaves que está entre los 8° a 20° y deben estar por debajo de los 200 metros, en el área de investigación lo encontramos por las localidades de Sendamal a lo largo del río Chirimayo hasta las localidades de Rejopampa el faro bajo y en la parte alta se lo encuentra en las localidades de Cruzpampa. Estas áreas están destinadas a la agricultura y ganadería.



Foto 3: Lomas en la localidad de CP Rejopampa.

5.2.3. LADERAS

Son geoformas inclinadas de una cadena montañosa en el área de investigación lo encontramos distribuidas hacia el norte en el cerro El Chivo y en la intersección de la quebrada Uñiga con la Quebrada Artesa y hacia el Sur en los cerros Peña Blanca y Cerro el Toro estas unidades geomorfológicas están desde los 300 hasta 500 de altitud y están determinadas por pendientes entre los 20° a 50° (ver tabla 02). Donde se logra identificar la mayoría de estas unidades geomorfológicas.



Foto 4: Ladera en la localidad de El Lirio.

5.2.4. ESCARPAS

Según Dávila (2011) son geoformas que presentan un fuerte desnivel en la superficie y están determinados por dos superficies más o menos planas. En la zona de investigación se logra determinar estas geoformas en la parte superior de la formación Pulluícana la cual presenta macizos más potentes los mismos que están mostrando estas unidades geomorfológicas.

Según el Ing. Reinaldo R. (2012). Estas geoformas se encuentran con pendientes superiores a los 50°. En el área de investigación estas geoformas lo encontramos formando las caras empinadas de los cerros, distribuidas por el centro del área de investigación.



Foto 5: escarpas en el cauce de la Quebrada Uñigan.



Foto 6: Escarpas cerca al distrito de Sorochuco.

En la imagen 08 se muestra tres unidades geomorfológicas en una sola zona bien definidas.



Foto 7: escarpas, ladera y planicie en el cerro el Chivo.

La clasificación explicada anteriormente se muestra en la imagen 4, definido como plano de unidades morfogenéticas, asociadas a las pendientes.

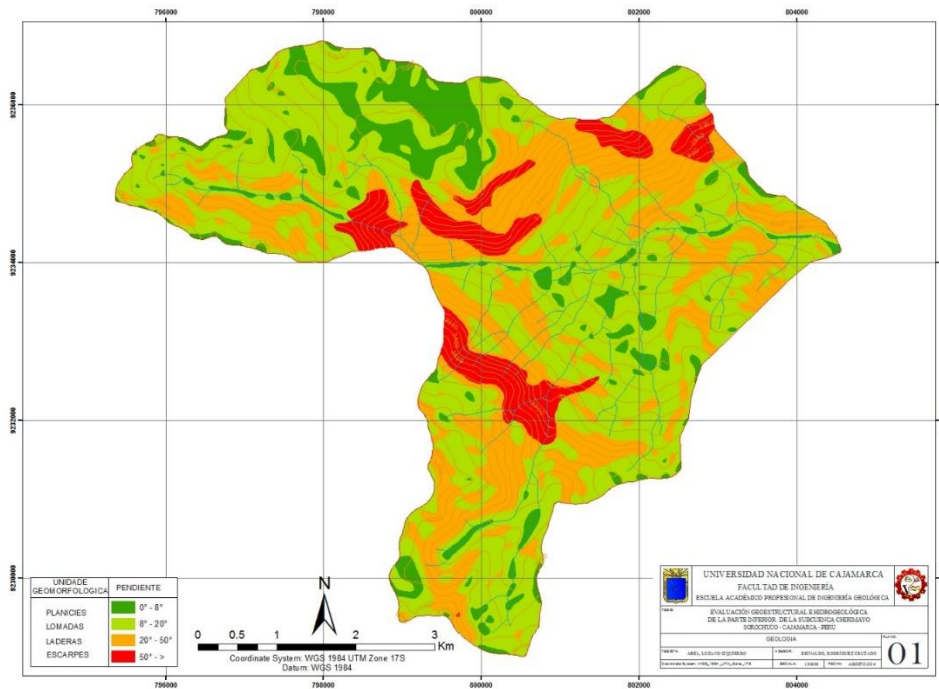


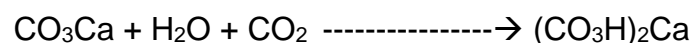
Imagen 4: plano de unidades geomorfológicas

5.3. KARST

Karst es un tipo de relieve resultado de procesos naturales causados por la disolución química y la erosión del agua en las rocas carbonatadas. Es un paisaje que se caracteriza por una morfología específica donde se puede tener los endokarst y los exokarst con patrones hidrológicos muy particulares donde el agua discurre generalmente de manera subterránea.

Las rocas carbonatadas como las calizas son rocas duras e insolubles, bastante resistentes a la erosión de los agentes geológicos, pero en ambientes húmedos, si la concentración de CO₂ en el aire es alta, se produce el fenómeno de meteorización química muy intenso denominado carbonatación. La roca caliza en principio es insoluble, se va disolviendo poco a poco.

El fenómeno se produce como consecuencia de la siguiente reacción química:



La caliza CO₃Ca insoluble se transforma en bicarbonato cálcico (CO₃H)₂Ca que es soluble, y la roca comienza a disolverse con facilidad.

5.4. EL MEDIO KARSTICO

Se conocen como zonas kársticas aquellas regiones constituidas por rocas compactas y solubles, carbonatadas fundamentalmente, en las que como consecuencia de los procesos de disolución (karstificación) aparecen formas superficiales (Exokarst) y subterráneas (endokarst) características que las diferencian de otro tipo de regiones. El origen y evolución espacio-temporal de estas formas depende de factores geológicos, tectónicos, hidráulicos, físico-químicos y biológicos. El resultado de la actuación de estos factores, cambiantes en el tiempo, es una amplia variedad de tipos de terrenos kársticos.

5.4.1. Características hidrológicas:

- Ausencia general de flujo superficial permanente. La red de drenaje superficial suele ser discontinua en el espacio, condicionada por la presencia de surgencias y sumideros, y en el tiempo, mostrando un carácter intermitente en el aporte de agua. Usualmente los caudales en los manantiales kársticos presentan grandes fluctuaciones.
- Hay una estrecha interrelación entre las aguas superficiales y las subterráneas. Esta relación puede ser cambiante en el espacio y en el tiempo.

5.4.2. Características hidrogeológicas

El karst es un medio con una gran heterogeneidad organizada espacio - temporal. Si bien no es posible extrapolar a un acuífero kárstico desconocido el funcionamiento de otro conocido, aunque esté próximo y sea aparentemente idéntico, sí que existe un esquema conceptual general del karst, que presenta aspectos como:

- Diferentes modalidades de infiltración, lenta y rápida, con distinta influencia en la respuesta energética (hidrograma, cantidad de agua) y química (calidad) de las surgencias.
- Eventual existencia de un acuífero superficial, con diferente infiltración temporal
- Presencia de bloques de baja permeabilidad (sistemas anexos), con función capacitiva, y presencia de conductos de muy alta permeabilidad (red de drenaje kárstico), con función conductora; estos últimos actúan a modo de colectores del drenaje de los bloques, que pueden ser independientes entre sí. La relación hidráulica bloques - conductos puede ser de doble sentido (inversión de gradiente). La porosidad eficaz del conjunto de la zona saturada puede alcanzar hasta el 20 %, en los casos más favorables, mientras que la red kárstica (los conductos) no llega a representar más que el 0.5 %.
- Frecuentemente el acuífero kárstico está alimentado por aportes superficiales procedentes de terrenos no kársticos que terminan infiltrándose de forma concentrada (sumideros) en las rocas carbonatadas.
- No necesaria relación entre karstificación superficial y profunda. El desarrollo de la disolución dependerá de factores hidráulicos y físico-químicos.
- La disolución (karstificación) origina una red organizada de drenaje hacia la cual convergen los flujos subterráneos. Esta red finaliza en surgencias que, normalmente, presentan notables caudales. Esta jerarquización del drenaje es el motivo por el cual en los terrenos kársticos hay pocas, pero importantes, zonas de descarga (surgencias).
- La variabilidad de caudales en las surgencias es consecuencia de la diferente importancia relativa que en el funcionamiento hidrogeológico del acuífero kárstico tienen la red de conductos y los bloques capacitivos. — Los acuíferos kársticos son, por lo general, muy vulnerables a la contaminación.

Esta va a depender de la organización del flujo y de las relaciones entre los bloques y los conductos.

5.5. MANIFESTACIONES EXOKÁRSTICAS

Se hallan en la superficie del Karst y por ellas se produce la infiltración del agua. Las principales formas, de menor a mayor tamaño, son las siguientes:

Dolinas. Son depresiones circulares o elípticas que se forman por disolución, en su fase inicial, a partir de la intersección de diaclasas, generalmente a favor de los planos de estratificación, produciéndose un proceso en cadena de infiltración-disolución. En cualquier caso no se disponen caprichosamente, sino que generalmente están alineadas según fracturas o direcciones de estratificación determinadas. En sección tienen forma de cubeta o embudo. Sus dimensiones varían desde unos pocos metros de diámetro hasta incluso 500 m. (Hoyo Masallo), siendo las más frecuentes de 20 a 25 m y normalmente están rellenas en su centro por arcillas de descalcificación.



Foto 8: Dolinas en la formación Pulluicana (E:798788 N: 9235655 Cota: 3533)



Foto 9: Dolinas en la formación Pulluicana (E:798837 N: 9235547 Cota: 3524)

Sumideros. son huecos formados de manera natural en las rocas carbonatadas por efecto de la meteorización química.

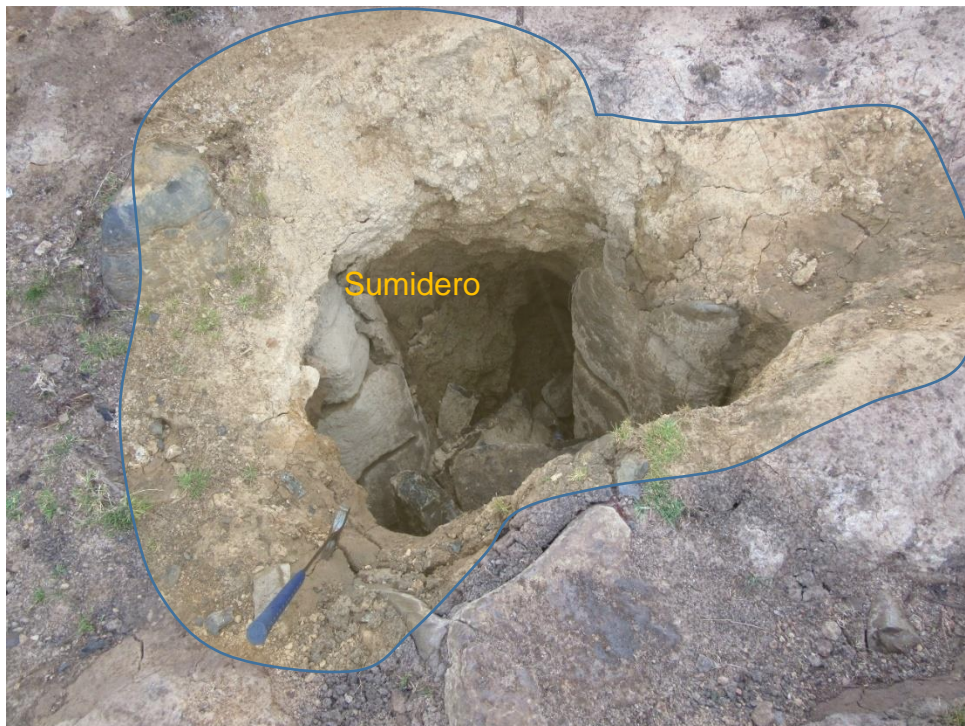


Foto 10: Sumidero formación Pulluicana (E: 798530 N: 9235695 Cota: 3557)

Lenares o Lapiaces. Son surcos o cavidades separadas por tabiques más o menos agudos. Los surcos se forman por las aguas de escorrentía sobre las vertientes o sobre superficies llanas con fisuras.



Foto 11: Lenares en la formación Pulluicana (E: 798826 N: 9235613 Cota: 3533)

CAPÍTULO VI. GEOLOGIA LOCAL

La zona de estudio está conformada en su gran mayoría por la formación Pulluicana que presenta principalmente calizas del cretáceo superior, y hacia el Oeste en los límites de la zona de investigación encontramos los volcánicos porculla, así como también cuerpos intrusivos y en los límites de estos se logró determinar roca caliza alterada a mármol lo que demuestra la presencia de estas intrusiones.


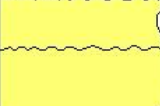

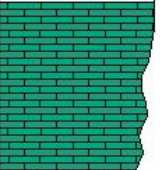
Erat.	SIST.	GRUPOS FORMACIONALES	POTENCIA (m)	UNIDAD LITOLOGICA	DESCRIPCION	
CENOZOICO	CUATERN.	Reciente			Depositos Fluvioglaciares.	
		Pleistoceno				
	TERCIARIO	SUPERIOR		150		Depositos lagunares y glaciares.
				200		
			Volcanico Huambos	300		Tobas blanco amarillentas intercaladas con areniscas rojizas, conglomerados y piroclastos.
		MEDIO		900		
INFERIOR	Volcanico Porculla		intercalaciones de derames andesíticos, tobas blanquecinas areniscas tobáceas y conglomerados lenticulares.			
MESOZOICO	CRETACEO		500		Calizas nodulosas macizas, margas y lutitas pardo amarillentas fosilíferas.	
			Fm Majarrum			700
		Grupo Pulluicana				

Imagen 5: Columna estratigráfica generalizada de la subcuenca del Rio Chirimayo.

6.1. FORMACIÓN PULLUÍCANA

La formación Pulluícana está formado por paquetes potentes de caliza, marga, lutitas y arenisca; aflora en la mayor parte de la zona de investigación. En la mayor parte de esta formación se logra ver los paquetes potentes de caliza aflorando en las partes altas, la mayor extensión de esta formación está cubierto por material cuaternario y vegetación haciendo no divisible el límite en las formaciones Yumagual y Mujarrún.

La manera de aflorar de la formación Pulluícana depende de la litología local y por lo tanto es bastante variable. Generalmente se presenta en escarpas más o menos pronunciadas, pero también puede presentar terrenos ondulados. Los colores de intemperismo de la formación varían entre crema y marrón claro.



Foto 12: Caliza fosilífera formación Pulluícana.



Foto 13: Caliza fosilífera de la formación Pulluicana (N: 9232381 E: 801262 C: 3127.)



Foto 14: Lutitas amarillentas intercaladas con margas de la formación Pulluicana (N: 9234123E: 800051 C: 3053)



Foto 15: Lutitas gris amarillentas. N: 9235369 E: 797415 C: 3742.

6.2. VOLCANICO PORCULLA

El Volcánico Porculla fue descrito por BALDOCK, J. (1971) como una secuencia gruesa de volcánicos mayormente ácidos que afloran a lo largo de la cresta de la Cordillera Occidental en los cuadrángulos de Olmos y Pomahuaca. El nombre de Porculla viene del abra el mismo nombre por donde pasa la carretera Olmos-río Marañón.

El Volcánico Porculla consiste de un grosor considerable de volcánicos dacíticos con intercalaciones de andesitas donde los piroclásticos son generalmente más abundantes que los derrames. Los volcánicos se presentan en capas medianas a gruesas pobremente estratificadas y dan afloramientos que vistos de lejos se asemejan a rocas intrusivas.

La litología típica es una dacita compuesta por pequeños fenocristales de plagioclasa y cuarzo en una matriz fina y dura de color gris verdoso. En algunos casos el cuarzo no forma cristales macroscópicos, pero está presente en la matriz. Esta misma litología caracteriza tanto a los derrames y brechas dacíticas como a los sills que están asociados con el Volcánico Porculla.



Foto 16: Volcánico Porculla y la formación Pulluícana (Muestras caliza y andesita porfirítica).

6.3. DEPÓSITOS COLUVIALES

Son materiales transportados por gravedad, la acción del hielo – deshielo y, principalmente, por el agua. Su origen es local, producto de la alteración in situ de las rocas y posterior transporte como derrubios de ladera o depósitos de solifluxión.

Frecuentemente están asociados a masas inestables. Su composición depende de la roca de la que proceden, estando formados por fragmentos angulares y heterométricos, generalmente de tamaño grueso, englobados en una matriz limo arcillosa. Su espesor suele ser escaso, aunque puede ser muy variable. La resistencia de estos materiales es baja, sobre todo en la zona de contacto con el sustrato rocoso, y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales como consecuencia de lluvias intensas, se derrumban.



Foto 17: Depósitos Coluviales Localidad del Faro Bajo.

6.4. DEPÓSITOS FLUVIALES

Son materiales transportados y depositados por el agua. Su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Las facies más gruesas presentan bordes redondeados. Se distribuyen en forma estratiforme, con cierta clasificación, variando mucho su densidad. Están muy desarrollados en los climas templados, ocupando cauces y valles fluviales, llanuras y abanicos aluviales, terrazas y paleocauces. Son suelos muy anisotrópicos en su distribución, sus propiedades están estrechamente relacionadas con la granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos en materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría y generalmente presentan un nivel freático alto.



Foto 18: Depósitos Fluviales Localidad de Faro Bajo.

6.5. DEPÓSITOS ALUVIALES

La energía del movimiento proviene de la gravitación. El agua solamente disminuye la fricción y facilita un deslizamiento. Las rocas destruidas por la erosión/meteorización se mueven cerro abajo en dos maneras:

Lento (poco centímetro cada año) Rápido: (en un derrumbe algunos 100 metros en un momento)

Taludes en movimiento lento muestran un crecimiento de árboles en una forma curvada, porque el árbol quiere mantener su posición. Este fenómeno se llama cabeceo y es un indicador muy importante para detectar deslizamientos lentos en las montañas.



Foto 19: Depósitos Aluviales Localidad Cochapampa.

6.6. INTRUSIONES

6.6.1. DIQUE DACITICO

Esta intrusión ígnea presenta una forma tabular con un espesor de 4m y una longitud de 500m aproximadamente. Teniendo en cuenta que estas estructuras se generan por fracturas de carácter distensivo se lo asocia a la apertura de la falla Chocta como condicionante estructural. Se presenta cortando las calizas de la formación Pulluícana.

Mineralógicamente las plagiosas y feldespatos se presentan alterados a arcillas (sericita, Montmorrillonita, escapolita, etc.), esta intrusión está asociado a la

intrusión magmática del depósito la carpa, debido a que este yacimiento es del tipo Au – Cu del tipo cuarzo, Diorita y pórfido de dacita siendo este el cuerpo mineralizado.



Foto 20: Dique dacítico, cerro Chocta.

6.7. METRAMORFISMO

Es la transformación sin cambio de estado a mineral de una roca cuando queda sometida a condiciones de temperatura o presión distintas de las que lo originaron.

MARMOL. Es una roca metamórfica compacta formado a partir de la caliza que, sometida a elevadas temperaturas y presiones alcanza un alto grado de cristalización. Este tipo de rocas se encuentra en los límites de la formación Pulluícana con el volcánico porculla presentándose como lineamiento siguiendo el contacto con el volcánico, hacia el este en la zona de investigación.



Foto 21: Mármol entre la formación Pulluícana y el volcánico Porculla .

CAPÍTULO VII. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Estructuralmente la zona de investigación presenta fallas con orientación predominante SW–NE, las fallas El chivo, Falla Atunpampa, falla el faro, falla sorochuco y la falla el toro con una tendencia de alineamiento N-S; y con orientación NW-SE falla la ramda, Falla Chogopampa, Falla artesa y la falla Uñigan, falla la clara, falla Chocta, falla el ingenio, falla rejo y falla condorcana

Las fallas principales presentan fallas aleatorias con diferentes orientaciones como falla el carbón (NE-SW), falla sendamal (SW-NE) y la falla Chirimayo entre otras fallas que no fueron nombradas en la presente investigación.

Mediante las estaciones estructurales, indicios de fallamiento y materiales de falla se logró definir la presencia de algunas fallas y las que no fueron determinadas en campo se mapeo como fallas inferidas.

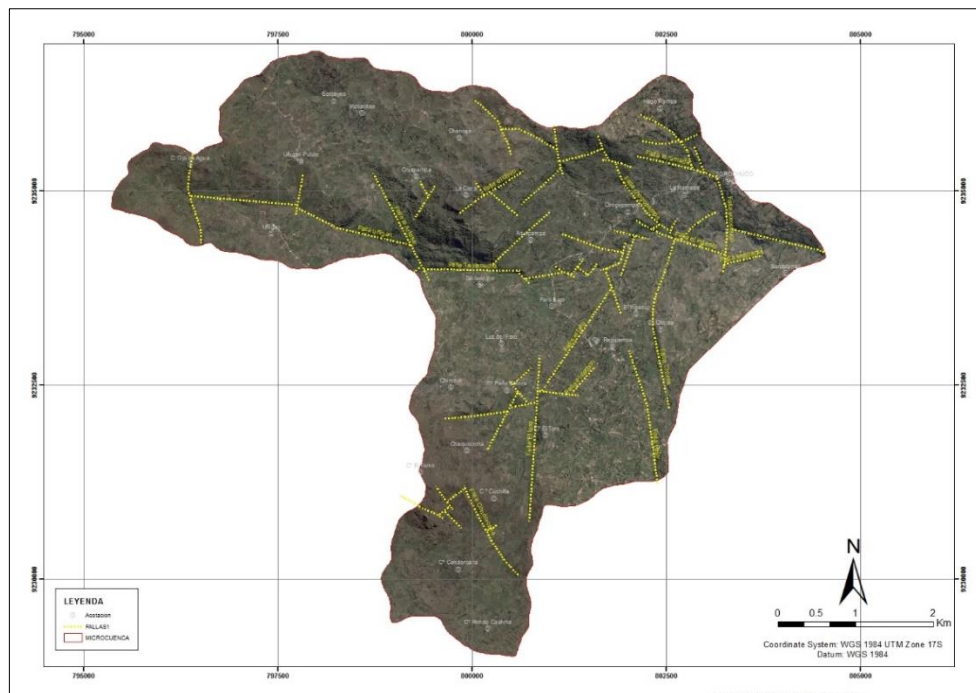


Imagen 7: Plano estructural de la zona investigación.

7.1. FALLA CHOCTA

Esta falla está ubicada al Sur del centro poblado Rejopampa y presenta una orientación NE -SW (Rbo: N10°-15° Bz : 70°NE, Este: 802397 Norte: 802397) Con una longitud de 2.2Km aprox., a la misma que en esta investigación se lo denominaremos falla Chocta presentado buzamientos altos desde los 60° a 70°, Esta falla ha sido determinada en análisis de imágenes satelitales y corroborada en campo en donde se logra determinar los escarpes producto de esta falla en el cerro del mismo nombre Además se lo considera de gran importancia debido a que se encontró un cuerpo intrusivo (detallado en capítulos anteriores) asociado a esta falla del mismo.



Foto 22: Ubicación falla Chocta.

7.2. FALLA EL TORO

Ubicada al Este del centro poblado Rejopampa y presentando una orientación NE -SW (Rbo: N10° Bz : 80°NW, Este: 800960 Norte: 9231852) Con una longitud de 2.4 Km aprox., a la que en esta lo denominaremos falla El Toro, presenta buzamientos altos desde los 70° - 80°, esta falla ha sido determinada en campo por la presencia de estrías y por la interpretación de imágenes satelitales.



Foto 23: Material de falla y plano de falla en la falla el Toro Rbo: 50° Buz: 46° (Este:800243 Norte:9230655)

En cuanto a las estructuras asociadas a esta falla El Toro estas se presentan perpendiculares a esta falla con buzamientos altos superando los 95° con aberturas cerradas las mismas que han llegado a formar superficies con pendientes entre los 80 – 90° en el cerro el toro.

7.3. FALLA EL CARBÓN

Ubicada al NW del centro poblado Rejopampa, presenta una orientación W – E cambiando su orientación al acercase al centro poblado de Rejopampa orientándose hacia NE (Rbo: N80° Bz : 80°NW, Este: 801587 Norte: 9232641) Con una longitud de 2.3 Km aprox., a la que estamos llamando falla El Carbón, presenta buzamientos altos sobre 80°, esta falla ha sido determinada en campo por la presencia de estrías y por la interpretación de imágenes satelitales.

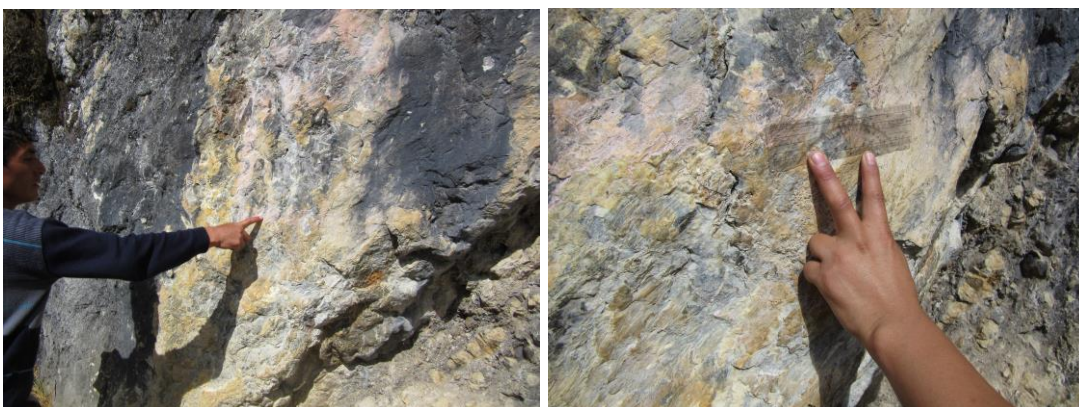


Foto 24: Estrías de fallamiento con mineralización de calcita falla el Carbón (Este: 801587 Norte: 9232641).

7.4. FALLA LA CLARA

Ubicada en el lugar del mismo nombre, presenta una orientación, NW - SE (Rbo: N130° Bz : 80°SW, Este: 800168 Norte: 9234943) Con una longitud de 0.9 Km aprox., a la que estamos llamando falla La Clara, presenta buzamientos altos sobre 80°, esta falla ha sido determinada en campo por la presencia de estrías y por la interpretación de imágenes satelitales.



Foto 25: vista panorámica de la falla la clara

7.5. FALLA UÑIGAN

Ubicada al SE de la localidad del mismo nombre, presenta una orientación W – E (Rbo: N110° Bz : 70°SW, Este: 798233 Norte: 9234544) Con una longitud de 1.3 Km aprox., a la que estamos llamando falla Uñigan, presenta buzamientos altos sobre 70°, esta falla ha sido determinada en campo por la interpretación de imágenes satelitales y estaciones estructurales.



Foto 26: Vista panorámica falla Uñigan.

7.6. ESTACIONES ESTRUCTURALES

Esta zona se ubica en la parte norte del río Chirimayo, caracterizada por presentar fallas y estructuras de mayor interés hidrogeológico debido a su relación con la presencia de importantes manantiales en este flanco del Río Chirimayo. El análisis estructural realizado en esta área corresponde a estaciones geoestructurales en diferentes puntos estratégicos para lograr entender la configuración estructural de la zona.

7.6.1. ESTACIONES (E-1, E-2 Y E-3):

Esta estación se encuentra en la formación Pulluícana se caracteriza por presentar calizas grises con estratos potentes intercaladas con estratos delgados presentándose cerros empinados con fuertes pendientes.

Se unieron los datos de tres estaciones debido a que estos se tomaron en puntos cercanos y continuos; realizando el análisis estructural se logró determinar tres grupos de discontinuidades D1 (Rbo: N263° Bz: 85°NW), D2 (Rbo: N49° Bz: 77°SE), D3 (Rbo: N1° Bz: 77°NW) de las cuales D1 y D3 generan los planos perfectos para la formación de caras totalmente empinadas la discontinuidad D2 como aleatoria, la misma que presenta un buzamiento en dirección SE son las que controlan la

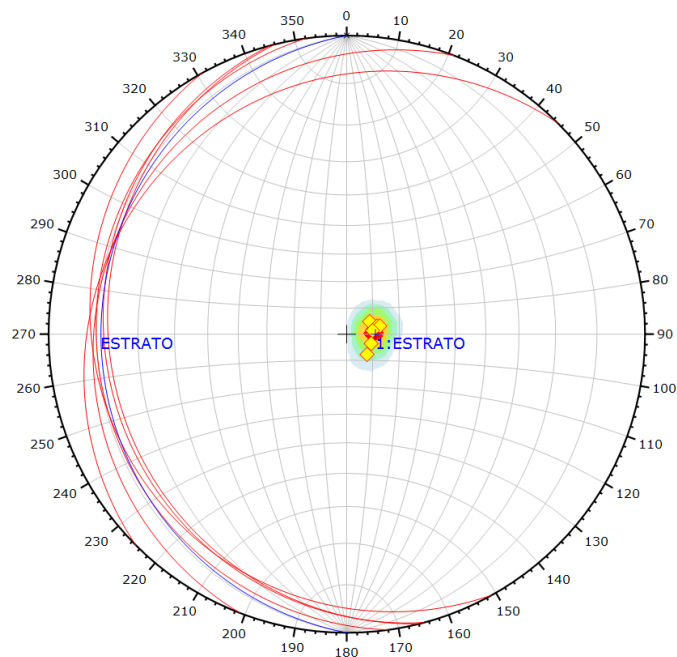
configuración estructural. El macizo rocoso presenta un buzamiento relativamente bajo de 10° en dirección W con dirección en contra de la pendiente.



Foto 27: Estaciones estructurales E-01, E-02 y E-03

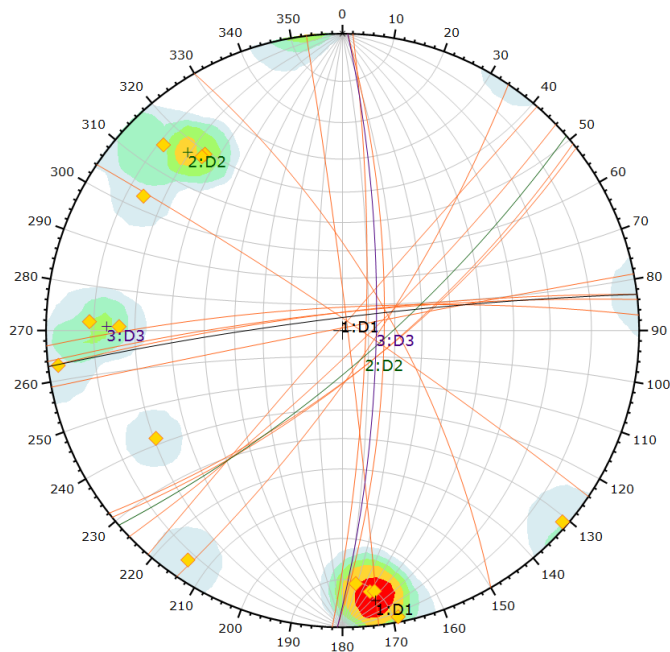
Tabla 4: Datos estructurales estaciones E-01, E-02 y E-03.

ESTACION	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD
E-01	798585	9234738	3522	E	10	291
				E	11	315
				D	89	311
E-02	798542	9234712	3531	E	13	256
				E	12	255
				D	74	141
				D	82	136
				D	74	142
E-03	798483	9234642	3529	E	10	262
				E	10	241
				D	78	124
				D	72	60
				D	74	91
				D	88	83
				D	81	357
				D	83	353
				D	83	354
				D	86	394
				D	81	92
				D	89	349



Symbol	SHAPE	Quantity
◆	E	6
Color	Density Concentrations	
	0.00	- 14.50
	14.50	- 29.00
	29.00	- 43.50
	43.50	- 58.00
	58.00	- 72.50
	72.50	- 87.00
Maximum Density		86.70%
Contour Data		Pole Vectors
Contour Distribution		Fisher
Counting Circle Size		1.0%
Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count		6 (6 Entries)
Hemisphere		Lower
Projection		Equal Angle

Grafico 3: Planos y densidad de polos de los estratos estaciones E-01, E-02 y E-03.



Symbol	SHAPE	Quantity
◆	D	14
Color	Density Concentrations	
	0.00	- 4.30
	4.30	- 8.60
	8.60	- 12.90
	12.90	- 17.20
	17.20	- 21.50
	21.50	- 25.80
Maximum Density		25.71%
Contour Data		Pole Vectors
Contour Distribution		Fisher
Counting Circle Size		1.0%
Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count		14 (14 Entries)
Hemisphere		Lower
Projection		Equal Angle

Grafico 4: Planos y densidad de polos de las discontinuidades estaciones E-01, E-02 y E-03.

7.6.2. ESTACION 04:

Esta estación se encuentra hacia el sur de las estaciones anteriores en el franco izquierdo del río Uñigan, se caracteriza por presentar una superficie empinada formado por paquetes potentes de rocas calizas azuladas. En esta estación se identificó dos familias de discontinuidades D1 (Rbo: N126° Bz: 80°SW), D2(Rbo: N313° Bz: 74°NE), estas discontinuidades están generando los planos de debilidad para la formación de superficies bastante empinadas.



Foto 28: Macizo rocoso en la estación E-04.

Tabla 5: Datos estructurales de la estación E-04.

ESTACION	Este	Norte	Tipo	DIP	DD
E-04	798490	9234318	E	8	320
			D	74	43
			D	80	216

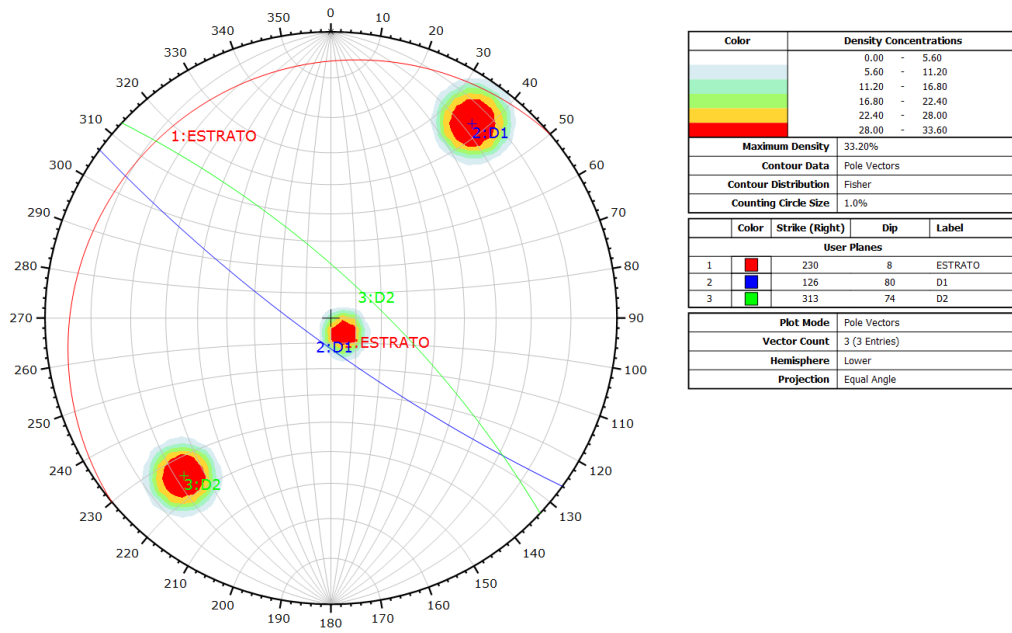


Grafico 5: Planos ponderados estación E-04.

7.6.3. ESTACION 05:

Esta estación se encuentra en el lugar denominado como cerro El Chivo los estratos presentan un buzamiento de 3° en dirección SW, con presencia de discontinuidades D1 (Rbo: N 296° Bz: 57°NE) en tendencia paralela al rumbo del estrato y D2 (Rbo: N 220° Bz: 84°NW) con tendencia perpendicular al rumbo del estrato, estas discontinuidades se presentan con un buzamiento opuesto una de otra.



Foto 29: Macizo rocoso de la estación E-05.

Tabla 6: Datos estructurales de las estaciones E-05.

Estación	Este	Norte	Tipo	DIP	DD
E-05	800413	9235122	D	42	44
			D	65	54
			D	83	308
			D	61	28
			D	88	309
			D	81	317
			E	3	238
			D	78	323
			D	88	142
			D	54	24
			D	80	301

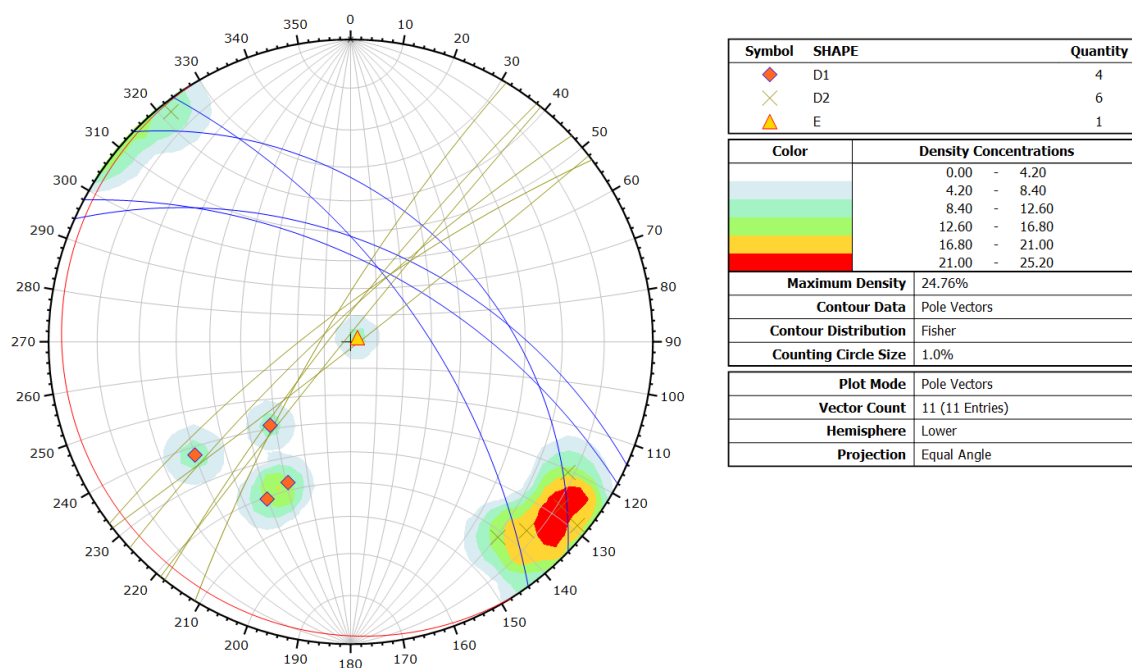


Grafico 6: Planos y densidad de polos de las discontinuidades. E-05.

7.6.4. ESTACION 06:

Esta estación se encuentra en el lugar de Chogopamapa los estratos presentan un buzamiento de 61° en dirección SW, con presencia de discontinuidades D1 (Rbo: N 322° Bz: 44°NE) en tendencia perpendicular al rumbo del estrato y D2 (Rbo: N40°

Bz: 83°SE) con tendencia perpendicular al rumbo del estrato, estas discontinuidades se presentan con un buzamiento opuesto una de otra.

Tabla 7: Datos estructurales de la estación E-06.

Estación	Este	Norte	Cota	Tipo	DIP	DD
E-06	801981	9234576	2702	E	61	216
				D	80	109
				D	84	125
				D	81	321
				D	49	65
				D	45	55
				D	40	52
				D	45	47
				D	63	224
				D	83	134
				D	25	233

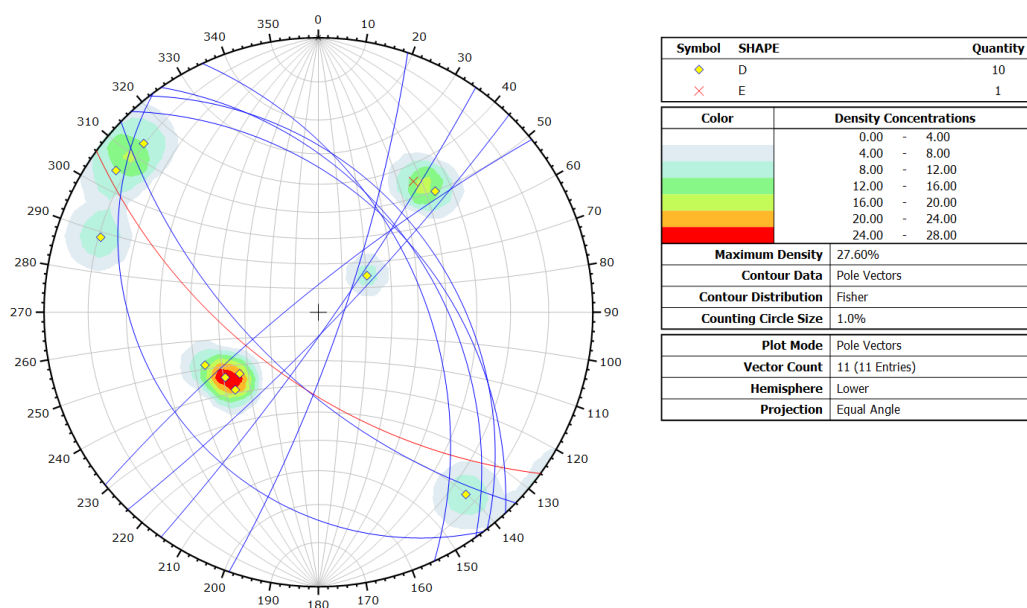


Grafico 7: Planos y densidad de polos de las discontinuidades E- 06.

7.6.5. ESTACION 07:

Esta estación se encuentra en el lugar denominado como El Carbón los estratos presentan un buzamiento de 26° en dirección SW, con presencia de

discontinuidades D1 (Rbo: N 303° Bz: 74°NE) en tendencia perpendicular al rumbo del estrato y D2 (Rbo: N 32° Bz: 73°SE) con tendencia paralela al rumbo del estrato.



Foto 30: Macizo rocoso en la estación E-07.

Tabla 8: Datos estructurales de la estación E-07.

Estación	Este	Norte	Tipo	DIP	DD
E-07	801605	9232656	E	26	133
			E	73	31
			D	74	31
			D	70	120
			D	71	118
			D	75	121
			D	78	126
			D	76	33
			D	77	35
			D	70	36
			D	26	62

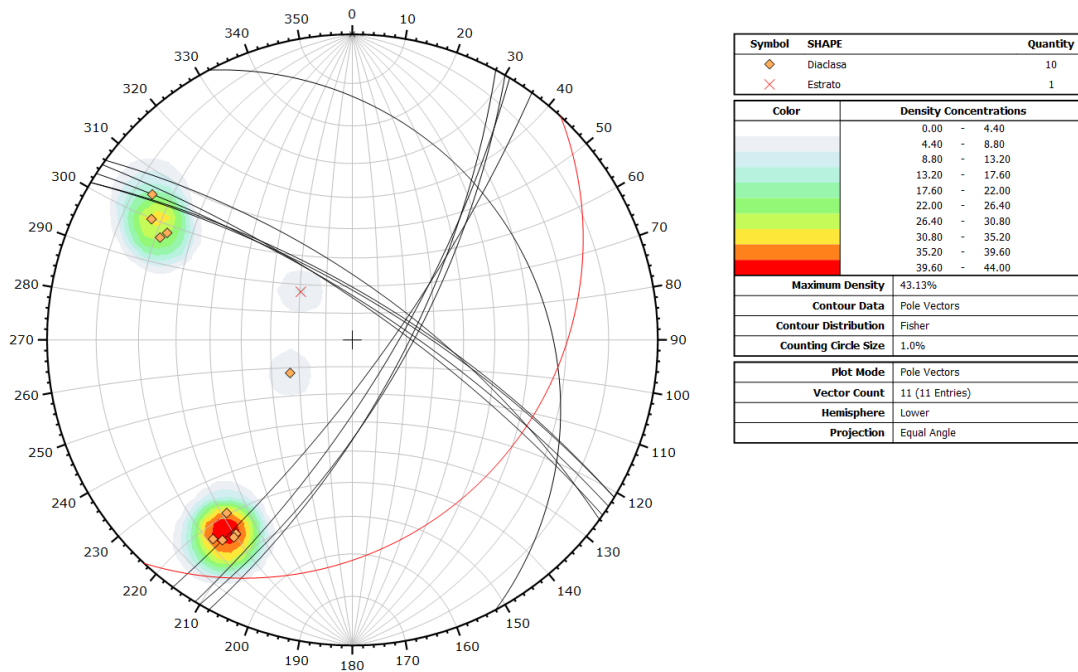


Grafico 8: Planos y densidad de polos de las discontinuidades E-07.

7.6.6. ESTACION 08:

Esta estación se encuentra en el cerro El Toro los planos de estratificación presentan un buzamiento de 1° en dirección NW, con presencia de discontinuidades D1 (Rbo: N 337° Bz: 84° NE) en tendencia perpendicular al rumbo del estrato y D2 (Rbo: N 76° Bz: 80° SE) con tendencia paralela al rumbo del estrato, estas discontinuidades generan las condiciones para la formación de cerros empinados.



Foto 31: Macizo rocoso en la estación E-08.

Tabla 9: Datos estructurales de la estación E-08.

Estación	Este	Norte	Tipo	DIP	DD
E-08	9231852	3392	E	1	325
			D	82	60
			D	81	172
			D	86	69
			D	80	156
			D	84	65
			D	87	68
			D	85	66
			D	81	166
			D	81	75
			D	84	165
			D	80	169
			D	83	187

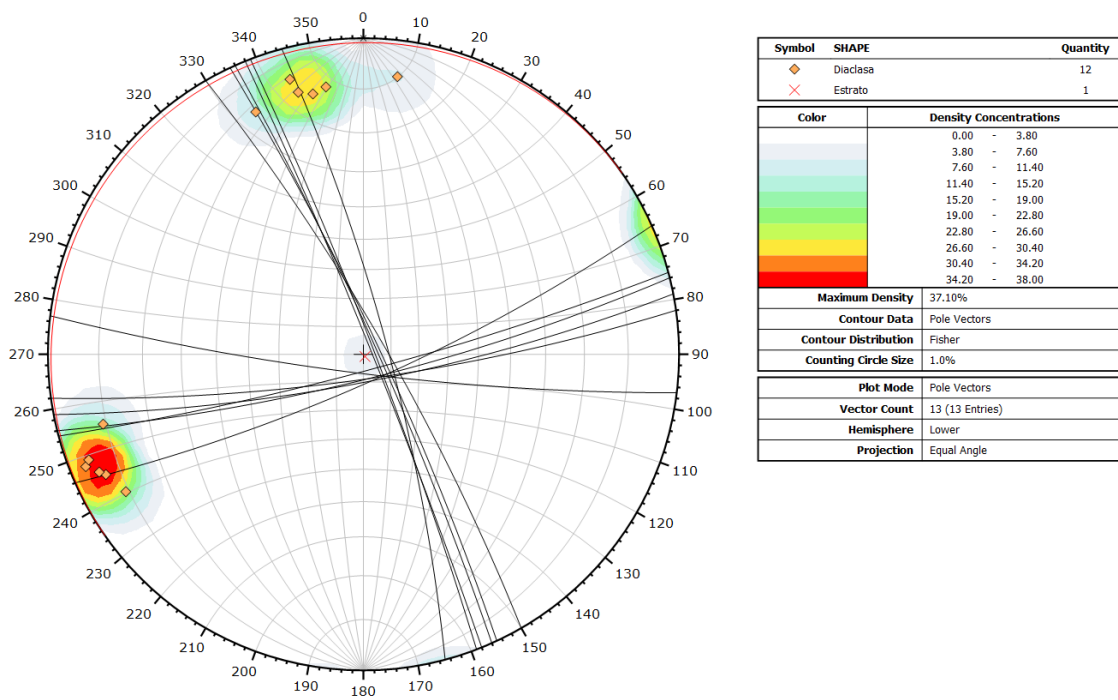


Grafico 9: Planos y densidad de polos de las discontinuidades estación E-08.

CAPÍTULO VIII. HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología es una rama del conocimiento que se basa en muchas y muy variadas disciplinas, una de las principales es la geología ya que son precisamente las formaciones geológicas las que constituyen el medio donde se almacena y se mueve el agua subterránea. Sin un conocimiento básico de ciertos aspectos de la geología es imposible un estudio de los recursos en aguas subterráneas y mucho menos su explotación racional.

8.1. EL CICLO HIDROLOGICO

El ciclo hidrológico o ciclo del agua es el proceso de circulación del agua entre los distintos compartimentos que forman la hidrosfera o hidrósfera (océanos, glaciares, etc.). Se trata de un ciclo biogeoquímico en el que hay una intervención mínima de reacciones químicas, porque el agua casi sólo se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico.

El agua en la naturaleza sigue un movimiento cíclico permanente de un sitio a otro, pasando por diversos estados: sólido, líquido y gaseoso. El agua en estado líquido se encuentra en la atmósfera, lagos, mares, ríos, lluvia y en el suelo y subsuelo, siendo esta última el objeto de estudio particular desde el punto de vista hidrogeológico. El agua en el suelo se distribuye de la manera siguiente: la zona más cercana a la superficie constituye la zona denominada no-saturada, en la cual el agua se encuentra en los vacíos o poros conjuntamente con aire y está sometida principalmente a fuerzas de capilaridad; a partir de una cierta profundidad el agua llena completamente los vacíos del suelo siendo ésta la llamada zona saturada, donde el agua está sometida principalmente a fuerzas gravitacionales y a resistencias viscosas.

Finalmente, el agua en estado sólido se encuentra bajo las formas de nieve, hielo o granizo y el agua en estado gaseoso la constituye el vapor de agua presente en la atmósfera.

8.2. DESCRIPCION DEL MOVIMIENTO DEL AGUA

El agua que se encuentra en la atmósfera en forma de vapor se condensa en nubes, las cuales originan las precipitaciones (P) en forma de nieve, lluvia o granizo. Una parte de dichas precipitaciones se evapora nuevamente antes de llegar a la superficie del suelo y la otra cae al suelo por la acción de la gravedad. De esta última, una parte es interceptada por la vegetación o por otras superficies y luego se evapora igualmente y la otra entra en contacto directo con el suelo o con cuerpos de agua (lagos y mares principalmente).

Aquella que cae al suelo puede alimentar la red hidrográfica directamente (escorrentía superficial), almacenarse en algunas partes de la superficie (almacenamiento superficial) o penetrar en el suelo y subsuelo (infiltración) para de esta manera alimentar las reservas de las capas acuíferas. Ver Figura 2.1. La energía calorífica proveniente del sol evapora parte del agua que está en las superficies libres (lagos, mares, etc.), en la red hidrográfica y en la superficie del suelo. De igual manera una parte del agua que está en la zona no-saturada del suelo se evapora directamente o se absorbe por las plantas las cuales a su vez le devuelven a la atmósfera en forma de vapor mediante el mecanismo de transpiración. Estos fenómenos son generalmente designados con el término de evapotranspiración. En cuanto al agua que se ha infiltrado en las zonas más profundas de la corteza terrestre y que alimenta las capas acuíferas, puede alcanzar más profundidad, o pasar a alimentar el flujo de los ríos, o retornar directamente a los mares a causa de la percolación, donde se inicia nuevamente el ciclo.

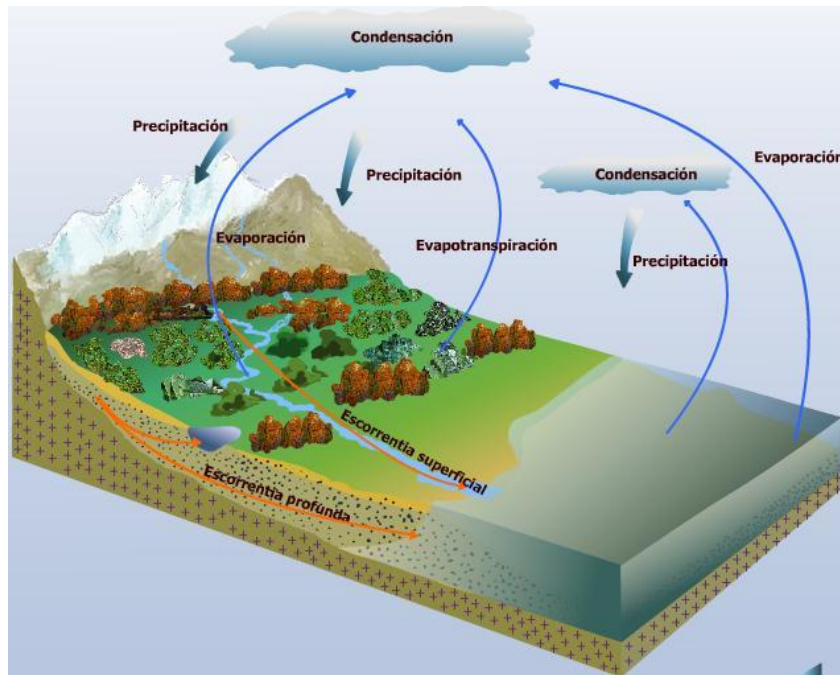


Imagen 8: El ciclo Hidrológico. Fuente: Universidad Complutense de Madrid.

Las fases del ciclo son las siguientes:

- Precipitación (P)
- Evapotranspiración (ET)
- Escorrentía superficial (ESD)
- Infiltración (I)

8.3. BALANCE DE AGUA PARA UNA CUENCA HIDROLOGICA

Un balance hídrico ya sea global, ya sea a nivel de una cuenca o de una zona más reducida (un acuífero, por ejemplo) se establece siempre sobre la base de la ecuación de continuidad:

Entradas = Salidas ± Variación de almacenamiento

Esta ecuación se aplica igualmente para un tiempo cualquiera, considerándose que para tiempos relativamente grandes la variación de almacenamiento es prácticamente despreciable y que por consiguiente las entradas son iguales a las salidas.

8.4. RELACION ENTRE AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES

8.4.1. MANANTIALES

Un manantial puede definirse como un punto de la superficie del terreno que de modo natural descarga a la superficie una cantidad determinada de agua, procedente de un acuífero o embalse subterráneo. La descarga de estos acuíferos no se efectúa únicamente mediante los manantiales sino que también puede producirse mediante evaporación al estar en contacto la zona saturada con la superficie del terreno. En ocasiones, la descarga del embalse subterráneo se realiza mediante la evapotranspiración de las plantas cuyas raíces alcanzan la zona saturada.

Los términos fuente y manantial son sinónimos, si bien el primero puede referirse también a las captaciones subterráneas y el uso del segundo se reduce exclusivamente a las surgencias naturales.

8.4.2. CLASIFICACION DE MANANTIALES

Existen numerosos tipos de clasificaciones según el aspecto que sea considerado: El tipo de materiales geológicos que constituyen el acuífero, la estructura del terreno, el régimen del caudal o según la composición química y la temperatura de sus aguas.

MANANTIALES DE LADERA

Se producen en el punto donde la superficie inclinada del terreno intercepta o corta una capa permeable. Suelen encontrarse en las proximidades de la zona de contacto entre las formaciones permeables e impermeables. Estos manantiales no proporcionan grandes caudales, dado el reducido tamaño del embalse subterráneo que drenan.

MANANTIALES DE VALLE.

Se producen en las depresiones o en los valles en los que el límite superior de la zona saturada (nivel freático) alcanza la superficie topográfica.

MANANTIALES INTERMITENTES.

Son aquellos en los que su caudal pasa de ser muy escaso o nulo a ser muy importante durante breve tiempo, debido a que la descarga se hace a través de un sifón. Estos manantiales son exclusivos de las formaciones calcáreas karstificadas.

MANANTIALES DE FRACTURA.

En las rocas ígneas y metamórficas la circulación y el almacenamiento de agua se hacen fundamentalmente a través de las zonas fracturadas (fallas y diaclasas). Por lo general estos manantiales son de pequeño caudal y se extinguen en verano cuando se descarga el agua almacenada a lo largo del plano de fractura.

8.5. RELACION ENTRE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA

El agua de los manantiales va a parar, directa o indirectamente, a un curso superficial. Los caudales que los ríos llevan proceden en gran medida de la escorrentía de las aguas de lluvia y del deshielo de la nieve, pero también incluyen las aguas que han circulado por el interior de las rocas del subsuelo sin llegar a alcanzar la zona saturada de los acuíferos subterráneos.

Para estudiar la aportación de agua subterránea que puede realizar un acuífero a un río, o al contrario, la recarga que un embalse subterráneo puede recibir de un curso de agua superficial, es fundamental conocer el tipo de conexión hidráulica que hay entre ambos. Este vendrá dado principalmente por dos factores.

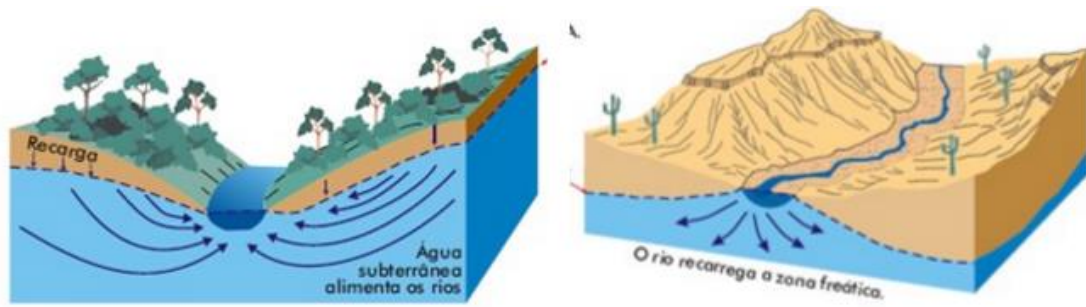


Imagen 9: Río Efluente (Izquierda), Río Influyente (Derecha).

En la figura de la izquierda se representa el caso de un río drenante o efluente que recoge las aguas de las grandes llanuras aluviales en las zonas con pluviometría abundante o con recarga debida a la infiltración de los excedentes del regadío. En la figura de la derecha se esquematiza el caso de un río infiltrante o influente que, no sólo no recibe ninguna escorrentía subterránea, sino que pierde por infiltración parte de su caudal, debido a que el nivel del agua en el cauce es más alto que la superficie saturada de los materiales permeables contiguos. Este esquema es típico de las zonas áridas o semiáridas en las que la infiltración de agua a través de los cauces de los ríos constituye la principal fuente de recarga de los acuíferos.

8.6. MEDIDA DE CUDALES

8.6.1. AFORO.

Es medir un caudal. En hidrología superficial puede ser necesario medir caudales pequeños hasta grandes ríos con caudales de muchos m³/s. en la presente investigación se utilizó el método de aforo directo. En esta investigación se realizó mediante un aforo directo con un aparato o procedimiento medimos directamente el caudal.

El procedimiento se basa en medir la velocidad del agua y aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal (m}^3\text{/s)} = \text{Sección(m}^2\text{)} \times \text{Velocidad(m/s)}$$

Para calcular la velocidad, se arroja un objeto que flote en el agua y pueda ser movido con facilidad por la corriente. Este procedimiento tiene un margen de error importante dependiendo de homogeneidad de la superficie del canal, pero permite asignar un orden de magnitud.

La medida de las velocidades se realiza las veces que se crea conveniente al mismo tiempo se mide la profundidad y ancho del cauce en diferentes puntos para determinar la sección con más precisión

A partir de las velocidades se obtiene el caudal por el siguiente procedimiento.

- 1° Se dibuja a escala los perfiles correspondientes a la vertical donde se midió con el objeto flotante.
- 2° Se dibuja una vista en planta del cauce, en dirección del ancho del canal señalando los puntos exactos donde se midió.

8.7. INVENTARIO DE MANANTIALES Y ACUIFEROS

Describir, cuantificar, evaluar y monitorear la extensión y el estado de todos los tipos de Manantiales, acuíferos, ríos y lagunas. según la definición de la Convención de Ramsar, y de los recursos de los humedales en la escala pertinente, con el fin de influir en la ejecución de la Convención y de secundarla, en particular con respecto a la puesta en práctica de las disposiciones relativas al uso racional de todos los humedales. Convención Ramsar, (1971).

Tabla 10: Inventario de manantial M01.

INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M01	N: 9233730	E: 80230607	2655
FECHA: 04 – 01 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 10:00 am			
LOCALIZACION: Parte baja del C.P. Rejopampa Anexo El Ingenio			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	permanente	Doméstico y regadío	ND
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en depósitos cuaternarios en la Localidad El Ingenio sus aguas han sido captadas para consumo humano, disminuyendo su caudal para su Libre recorrido.			

Tabla 11: Inventario de manantial M02.

INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M02	N: 9234018	E: 802360	2580
FECHA: 04 – 01 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 10:11 am			
LOCALIZACION: Parte baja del Centro Poblado Rejopampa – Anexo el Ingenio a unos 5 minutos del manantial anterior.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
manantial	permanente	Piscigranga y domestico	Viviendas cercanas
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en depósitos cuaternarios en la parte baja de la Localidad El Ingenio, sus aguas han sido captadas para criaderos de truchas (Alevines).			

Tabla 12: Inventario de manantial M03.

INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M03	N: 9233932	E: 802357	2634
FECHA: 04 – 01 – 2016	FOTOGRAFIA:		
Parte baja del Centro Poblado Rejopampa – Anexo el Ingenio a unos 100 metros aproximadamente del manantial anterior.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Regadío	ND
OBSERVACIONES: También se logra identificar un manantial de régimen permanente a unos 10 metros de este con un caudal menor a que se encuentra en esta manifestación			

Tabla 13: Inventario de manantial M04.

INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M04	N: 9234000	E: 802375	2645
FECHA: 04 – 01 – 2016	FOTOGRAFIA:		
Parte baja del Centro Poblado Rejopampa – Anexo el Ingenio a unos 100 metros aproximadamente del manantial anterior.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Regadío, domestico	Viviendas cercanas
OBSERVACIONES: En el manantial hay evidencias de un canal subterráneo el mismo que esta evidenciado por huecos en donde se puede apreciar el curso de agua con dirección a la salida del manantial.			

Tabla 14: Inventario de manantial M05.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M05	N: 9234080	E: 802321	2659
FECHA: 04 – 01 – 2016	FOTOGRAFIA:		
Parte baja del Centro Poblado Rejopampa – Anexo el Ingenio a unos 50 metros aproximadamente del manantial M04.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	permanente	Domestico	
OBSERVACIONES: El manantial se encuentra en una llanura en un material cuaternario se encuentra en la parte baja de la localidad El Ingenio, tiene un uso doméstico principalmente y algunas veces ganadero.			

Tabla 15: Inventario de manantial M06.


INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M06	N: 9234440	E: 801734	2755
FECHA: 04 - 01 - 2016	FOTOGRAFIA:		
Anexo Chogopampa a unos 20 metros de la carretera Sorochuco - Rejopampa			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Regadío	viviendas
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en un Lugar con mucha cobertura vegetal lo que no permite registrar su punto específico de salida, se encuentra en la Localidad de Chogopampa.			

Tabla 16: Inventario de manantial M07.


INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M07	N: 9234396	E: 800722	3000
FECHA: 06 – 01 – 2016	FOTOGRAFIA: 		
HORA: 11:17			
LOCALIZACIÓN: Localidad de Atunpampa a espaldas del Centro Educativo de Primaria			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Ganadería	Viviendas
OBSERVACIONES: El manantial presenta un alto Caudal y cierta turbiedad visible en épocas lluviosas con caudal variable se encuentra en una planicie en la parte baja de una zona montañosa.			

Tabla 17: Inventario de manantial M08.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M08	N: 9234538	E: 800917	3005
FECHA: 06 – 01 – 2016	FOTOGRAFIA: 		
LOCALIZACION: Localidad de Atunpampa en la Intersección de los caminos que van hacia Sorochuco, Cruzpampa y Rejopampa			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Regadío	ND
OBSERVACIONES: El manantial se encuentra en depósito coluvial en una planicie en la parte baja de una zona montañosa presenta variaciones en su caudal de acuerdo a las estaciones del año.			

Tabla 18: Inventario de manantial M09.


INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M09	N: 9 234 545	E: 800 930	3006
FECHA: 06 – 01 – 2016	FOTOGRAFIA:		
LOCALIZACION: Localidad de Atunpampa en la Intersección de los caminos que van hacia Sorochuco, Cruzpampa y Rejopampa.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Domestico	ND
OBSERVACIONES: este manantial se encuentra en depósitos coluviales presenta un caudal relativamente bajo. Según versiones de los pobladores este manantial tiene un comportamiento opuesto a las estaciones del año, quiere decir que en épocas lluviosas presenta bajo caudal y en verano aumenta su caudal. El manantial M08 se encuentra a unos 5m aproximadamente y tiene un comportamiento normal en su caudal conforme a las estaciones del año.			

Tabla 19: Inventario de manantial M10.


INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M10	N: 9234650	E: 800424	3232
FECHA: 06 – 01 – 2016	FOTOGRAFIA:		
Anexo la Clara en la parte baja del cerro El Chivo.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Domestico	Captacion
OBSERVACIONES: En este lugar se puede apreciar más surgencias de agua asociadas a este manantial, una cantidad es captada para los pobladores de Atunpampa y otra cantidad presenta un caudal relativamente bajo.			

Tabla 20: Inventario de manantial M10.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M10	N: 9234910	E: 799416	3352
FECHA: 06 – 01 – 2016	FOTOGRAFIA:		
LOCALIZACION: Centro Poblado de Cruzpampa a unos 10 minutos del centro educativo Primaria.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Domestico	ND
OBSERVACIONES: este manantial se encuentra en la formación Pulluícana en su surgencia se puede apreciar las calizas del macizo rocoso.			

Tabla 21: Inventario de manantial M11.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M11	N: 9234864	E: 799301	3357
FECHA: 06 – 01 – 2016	FOTOGRAFIA:		
LOCALIZACION: Centro Poblado de Cruzpampa a unos 10 minutos del centro educativo Primaria.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Variable	Domestico	ND
OBSERVACIONES: este manantial se encuentra en la formación Pulluícana en depósitos cuaternarios.			

Tabla 22: Inventario de manantial M13.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M13	N: 9234874	E: 796664	3668
FECHA: 11 – 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 11:17			
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo, parte alta de la quebrada Uñigan flanco izquierdo cerca de la carreta a unos metros del puente de la misma Quebrada.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	ND	ND
OBSERVACIONES: este manantial se encuentra en depósitos cuaternarios de la formación Pulluícana, presenta un caudal importante con un cauce en dirección a la quebrada Uñigan.			

Tabla 23: Inventario de manantial M14.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M14	N: 9234796	E: 796660	3695
FECHA: 11 – 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo, parte alta de la quebrada Uñigan flanco izquierdo.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Permanente	Permanente	Regadío	ND
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en depósitos cuaternarios de la formación Pulluícana presenta un caudal importante aproximadamente superior a 1 lts/s.			

Tabla 24: Inventario de manantial M15.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M15	N: 9234782	E: 796569	3704
FECHA: 11 – 05 – 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 11:30			
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo, parte alta de la quebrada Uñigan flanco izquierdo.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Variable	Cultivos, ganadero	ND
OBSERVACIONES: este manantial se encuentra en depósitos cuaternarios y presenta un caudal relativamente bajo es captado para regadío de cultivos y pastos.			

Tabla 25: Inventario de manantial M16.


INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M16	N: 9234572	E: 796408	3807
FECHA: 11 – 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 11:46			
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo, parte alta de la quebrada Uñigan flanco izquierdo.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Domestico	Capt.
OBSERVACIONES: este manantial está en la formación Pulluícana el agua es captada para uso doméstico a la localidad de Uñigan Pululo y parte Potrerillo, no presenta ningún cauce.			

Tabla 26: Inventario de manantial M21.

INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M21	N: 9234908	E: 796017	3794
FECHA: 11 – 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
LOCALIZACIÓN: Anexo Uñigan Pululo, parte alta de la quebrada Uñigan flanco izquierdo, cerca del cauce de la misma quebrada.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Variable	ND	ND
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en el Volcánico Porculla presenta una coloración rojizo oscura lo cual indicaría presencia de óxidos en el agua, no presenta cauce.			

Tabla 27: Inventario de manantial M17.

INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M17	N: 9235146	E: 796072	3757
FECHA: 11 – 05 – 2016	FOTOGRAFIA:		
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo, parte alta de la quebrada Uñigan flanco derecho, cerca del cauce de la misma quebrada.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	ND	ND
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en el Volcánico Porculla presenta una coloración rojizo oscura lo cual indicaría presencia de óxidos en el agua, no presenta cauce y presenta un bofedal en su punto de surgencia con un pequeño cauce y bajo caudal hacia la quebrada Uñigan.			

Tabla 28: Inventario de manantial M19.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M19	N: 9235222	E: 796752	3735
FECHA: 11 - 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 13:13			
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo cerca del Camino hacia el lugar denominado como Picota Chica.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Variable	ND	ND
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en depósitos cuaternarios cerca del límite de la formación Pulluícana con el Volcánico Porculla presenta un caudal relativamente bajo.			

Tabla 29: Inventario de manantial M18.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M18	N: 9235396	E: 796912	3778
FECHA: 11 - 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 13:24			
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo cerca del Camino hacia el lugar denominado como Picota Chica.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en depósitos cuaternarios cerca del límite de la formación Pulluícana con el Volcánico Porculla presenta un caudal relativamente bajo, además se observa plantones de Quinuales.			

Tabla 30: Inventario de manantial M20.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M20	N: 9235330	E: 796973	3754
FECHA: 11 - 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 13:32			
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo cerca del Camino hacia el lugar denominado como Picota Chica.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en depósitos cuaternarios cerca del límite de la formación Pulluicana con el Volcánico Porculla presenta un caudal relativamente bajo, además se observa plantones de Quinuales.			

Tabla 31: Inventario de manantial M22.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M22	N: 9235314	E: 797046	3772
FECHA: 11 - 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo cerca del Camino hacia el lugar denominado como Picota Chica.			
			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Domestico	Capta.
OBSERVACIONES: se presenta en materiales Cuaternarios en los límites del volcánico porculla con la formación Pulluicana.			

Tabla 32: Inventario de manantial M25.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M25	N: 9235266	E: 797148	3767
FECHA: 11 – 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 13:42			
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo cerca del Camino hacia el lugar denominado como Picota Chica.			
			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial -Bofedal	Permanente	ND	ND
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en depósitos cuaternarios presenta un bofedal sus aguas no tienen un cauce por el mismo motivo que se presenta el bofedal.			

Tabla 33: Inventario de manantial M24.

INVENTARIO DE MANATIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M24	N: 9235484	E: 797846	3682
FECHA: 11 – 05 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 14:07			
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo cerca del camino Que conduce hacia Cruzpampa a unos metros del mercado de Uñigan.			
			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Laguna	Variable	ND	ND
OBSERVACIONES: Es una Pequeña Laguna en el Fondo de una Dolina esta en las rocas calizas de la formación Pulluícana cerca del imite con el Volcánico porcullla.			

Tabla 34: Inventario de manantial M26.

INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M26	N: 9235488	E: 798078	3649
FECHA: 11 – 05 – 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 14:26			
LOCALIZACION: Anexo Uñigan Pululo cerca del camino Que conduce hacia Cruzpampa.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial - Bofedal	Permanente	Domestico	ND
OBSERVACIONES: Se pdetermino un manantial y bofedal cubriendo un área aproximadamente de 200 m ² el mismo que abastece a los pobladores de Uñigan Pululo en temporadas de sequía. Presenta un caudal relativamente bajo.			

Tabla 35: Inventario de manantial M23.

INVENTARIO DE MANANTIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M23	N: 9235340	E: 799260	3514
FECHA: 11 – 05 – 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 15:12			
LOCALIZACION: Localidad de Cruzpampa al Costado del Cmino Cruzpampa – Colegio Secundario.			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Laguna	Variable	Ganadero	ND
OBSERVACIONES: Esta Laguna forma parte del sistema carkstico no presenta drenaje debido se encuentra en depósitos cuaternarios.			

Tabla 36: Inventario de manantial M27.

INVENTARIO DE MANATAIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M27	N: 9233316	E: 802721	2016
FECHA: 26 – 08 - 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 11:43			
LOCALIZACION: Anexo Cochapampa a unos metros de la carretera Rejopampa Cochapampa, en el lado derecho del ce4rro Chocta.			
			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Domestico	ND
OBSERVACIONES: Este manantial se encuentra en depósitos Cuaternarios cerca de una intrusión Dacítica en la localidad denominada Cochapampa			

Tabla 37: Inventario de manantial M28.

INVENTARIO DE MANATAIALES			
MANIFESTACION	COORDENADAS		COTA
CODIGO: M28	N: 9230324	E: 800090	3708
FECHA: 26 – 08 – 2016	FOTOGRAFIA:		
HORA: 11:43			
LOCALIZACION: Anexo Condorcana cerca del cerro del mismo Nombre.			
			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS
Manantial	Permanente	Domestico	ND
OBSERVACIONES: El manantial se encuentra en el Volcánico Porculla presenta un caudal bajo y es captado de forma Artesanal Para uso doméstico y ganadero.			

8.8. PARAMETROS FISICOQUIMICOS DE MUESTRAS

Los resultados del análisis de cada una de las muestras de agua fueron comparados con los Estándares Nacionales de calidad de agua establecidos en el DS N°002-2008-MINAM de acuerdo a la categoría correspondiente y para el caso de efluentes se ha considerado el DS N° 031-2010-SA (límites máximos permisibles para consumo humano).

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS RIO UÑIGAN

El agua del río (M - 1) tiene un pH alcalino a básico (pH 8.11). Menor a lo registrado, La conductividad es de 210 uS/cm representado el contenido de sales disueltas. En cuanto a la dureza el río Uñigan registro el mayor valor de 170 ml/L. El cual se podría considerar como agua moderadamente dura (entre 150 y 300mgCaCo3 mg/L).


El agua del río Uñigan captado para uso doméstico, regadío y ganadero presenta una turbiedad de 1.08 UNT, por debajo del ECA establecido para aguas que pueden ser potabilizadas (5 UNT), los bajos registros de turbiedad se deben, en general a la protección que ejercen la cobertura vegetal contra los procesos erosivos que siguen de las precipitaciones pluviales.

PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

El río Uñigan (M - 1), registra coliformes totales (8 UFC/100ml), por encima del límite máximo permisible para aguas de consumo humano (0 UFC/100ml), así como coliformes fecales (termotolerantes) (4 UFC/100ml), por encima del límite de detección.

Por lo tanto, se recomienda clorar el agua para remover los coliformes existentes en caso de consumo humano.

Tabla 38: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-1

INVENTARIO DE MANATIALES				
RÍO UÑIGAN		COORDENADAS		COTA
CODIGO:	M-1	N: 923491	E: 796663	3660
FECHA:	18/12/2016	FOTOGRAFIA:		
HORA:				
LOCALIZACION:	Rio Unigan Pululo afluente del Rio Chirimayo			
TIPO DE MANIFESTACION	Rio	RÉGIMEN	USO	OBRAS
		permanente	Ganadería	ND
INFORME DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA				
PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP	
		RESULTADO		
ANÁLISIS FISICOQUIMICO				
TURBIEDAD	UNT	1.08	5	
pH, a 18.4°C	--	8.11	6.5 - 8.5	
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	210	1500	
DUREZA	mg/L	170	500	
CLORUROS	mg/L	6	250	
FLUORUROS	mg/L	<0.02	2	
SULFATOS	mg/L	5	250	
NITRATOS	mg/L	2	50	
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07	
ALUMINIO	mg/L	0.024	0.2	
COBRE	mg/L	0.108	2	
CROMO	mg/L	<0.002	0.05	
HIERRO	mg/L	0.042	0.3	
MANGANESO	mg/L	0.146	0.4	
ZINC	mg/L	0.116	3	
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO				
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	8	0	
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	4	0	
FUENTE: Empresa prestadora de servicios SEDACAJ				
OBSERVACIONES:				

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS PUQUIO CRUZPAMPA

El agua del manantial de la estación M - 2 tiene un pH cercano a la neutralidad o ligeramente básico (pH 7.47 u.e.), La conductividad es de 450 uS/cm indicando un alto contenido en sustancias inorgánicas (buenos conductores). El agua es de tipo calcio bicarbonato, como resultado de la interacción del agua con las calizas (calcita y dolomita). El calcio es el catión predominante en dicho manantial donde la dureza es de 250mg/L. El agua del manantial Puquio Cruzpampa utilizado para consumo humano (M - 1) presento una turbiedad de 0.91 UNT, por debajo del ECA establecido para aguas que pueden ser potabilizadas (5 UNT), los bajos registros de turbiedad se deben, a que en trayecto de los manantiales por el subsuelo este actúa como filtro en espacios reducidos y también se podría mencionar espacios de sedimentación hasta llegar a salir a la superficie.


PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

El manantial puquio Cruzpamapa (M - 2), registra coliformes totales (4 UFC/100ml), por encima del límite máximo permisible para aguas de consumo humano (0 UFC/100ml), no registrando coliformes fecales (termotolerantes) (0 UFC/100ml).

Por lo tanto, se recomienda clorar el agua para remover los coliformes totales existentes para tener un agua apta para el consumo humano.

Este manantial se encuentra presenta un elevado valor en contenido de cobre (0.248 mg/L) por debajo de los límites Permisibles, se podría mencionar que este manantial atraviesa alguna anomalía con contenido de cobre, ya que en el lugar de surgencia se tiene presencia de rocas calizas de la formación Pulluícana.

Tabla 39: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-2

INVENTARIO DE MANANTIALES				
PUQUIO CRUZPAMPA		COORDENADAS		COTA
CODIGO:	M-2	N: 9234910	E: 799416	3352
FECHA:	18/12/2016	FOTOGRAFIA:		
HORA:	10:30			
LOCALIZACION:	Manantial el Puquio en el Centro poblado Cruzpamapa			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS	
Manantial	Permanente	Ganadería y Domestico	ND	
INFORME DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA				
PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP	
		RESULTADO		
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO				
TURBIEDAD	UNT	0.91	5	
pH, a 18.8°C	--	7.47	6.5 - 8.5	
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	450	1500	
DUREZA	mg/L	250	500	
CLORUROS	mg/L	10	250	
FLUORUROS	mg/L	<0.02	2	
SULFATOS	mg/L	12	250	
NITRATOS	mg/L	1	50	
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07	
ALUMINIO	mg/L	0.071	0.2	
COBRE	mg/L	0.248	2	
CROMO	mg/L	<0.002	0.05	
HIERRO	mg/L	0.091	0.3	
MANGANESO	mg/L	0.2	0.4	
ZINC	mg/L	0.181	3	
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO				
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	4	0	
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	0	0	
FUENTE: Empresa prestadora de servicios SEDACAJ				
OBSERVACIONES:				

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS QUEBRADA LA VIÑA.

El agua de la quebrada de la (M – 3) tiene un pH ligeramente básico (pH 8.25 u.e.), La conductividad es de 411 uS/cm indicando un alto contenido en sustancias inorgánicas (buenos conductores). En cuanto a la dureza de agua en la quebrada la Viña registró un valor 290 mg/L. El cual se considera como agua dura (entre 150 y 300mgCaCo3 mg/L). estos altos valores nos indican la presencia de sales disueltas y la presencia el proceso de karstificación en las rocas carbonatadas de la formación Pulluicana. Por lo que se determina a la fuente de esta quebrada (M07) como manantiales kársticos, debido también a su elevado caudal en épocas lluviosas.


El agua de la quebrada La Viña (M - 3), presentó una turbiedad de 1.91 UNT, por debajo del ECAs establecido para aguas que pueden ser potabilizadas y de consumo humano (5 UNT), Los niveles de turbiedad se deben a que está quebrada está expuesta a materia orgánica debido a sembríos que se realizan en sus riveras

PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS.

Tal como se aprecia en la tabla 43, los parámetros bacteriológicos del manantial (M - 3), registra conteos de coliformes totales (6 UFC/100ml), por encima del límite máximo permisible para aguas de consumo humano (0 UFC/100ml), así como conteos de coliformes fecales (termotolerantes) (2 UFC/100ml), por encima del límite de detección. Estos valores se deben a que en el trayecto de la quebrada cruza caminos rurales y terrenos destinados a cultivos, pastos donde los agentes contaminantes serían directamente las personas y animales.

Por lo tanto, se debe tener en consideración la presencia de dichas especies en las aguas del manantial (M - 3), se recomienda clorar el agua para remover los coliformes existentes en casos de consumo Humano.

Tabla 40: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-3

INVENTARIO DE MANANTIALES				
QUEBRADA LA VIÑA		COORDENADAS		COTA
CODIGO: M-3		N: 9233988	E: 800996	2870
FECHA: 18/12/2016	FOTOGRAFIA:			
HORA: 12:00				
LOCALIZACION:				
Quebrada la viña tiene su naciente en los manantiales del anexo Atumpampa				
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS	
Quebrada	Permanente	Riego, Ganadería	ND	
INFORME DE ANÁLISIS FISICOQUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA				
PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP	
		RESULTADO		
ANÁLISIS FISICOQUIMICO				
TURBIEDAD	UNT	1.91	5	
pH, a 18.4°C	--	8.25	6.5 - 8.5	
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	411	1500	
DUREZA	mg/L	290	500	
CLORUROS	mg/L	10	250	
FLUORUROS	mg/L	<0.02	2	
SULFATOS	mg/L	8	250	
NITRATOS	mg/L	1	50	
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07	
ALUMINIO	mg/L	0.014	0.2	
COBRE	mg/L	0.044	2	
CROMO	mg/L	<0.002	0.05	
HIERRO	mg/L	0.031	0.3	
MANGANESO	mg/L	0.3	0.4	
ZINC	mg/L	0.083	3	
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO				
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	6	0	
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	2	0	
FUENTE: Empresa prestadora de servicios SEDACAJ				
OBSERVACIONES:				

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS QUEBRADA LA FALDA.

El agua de la quebrada de la (M – 4) tiene un pH ligeramente básico (pH 8.24 u.e.), La conductividad es de 339 uS/cm indicando un alto contenido en sustancias inorgánicas (buenos conductores). En cuanto a la dureza de agua en la quebrada la Viña registró un valor 200 mg/L. El cual se considera como agua dura (entre 150 y 300mgCaCo3 mg/L). estos altos valores nos indican la presencia de sales disueltas y la presencia el proceso de karstificación en las rocas carbonatadas de la formación Pulluicana. Por lo que se determina a la fuente de esta quebrada los manantiales (M08 y M09) son manantiales kársticos, debido también a su elevado caudal en épocas lluviosas.


El agua de la quebrada La Viña (M - 4), presentó una turbiedad de 0.80 UNT, por debajo del ECAs establecido para aguas que pueden ser potabilizadas y de consumo humano (5 UNT), Los bajos niveles de turbiedad se deben en general a la protección que ejercen la cobertura vegetal contra los procesos erosivos que siguen de las precipitaciones pluviales.

PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS.

Tal como se aprecia en la tabla 44, los parámetros bacteriológicos del manantial (M - 4), registra conteos de coliformes totales (5 UFC/100ml), por encima del límite máximo permisible para aguas de consumo humano (0 UFC/100ml), así como conteos de coliformes fecales (termotolerantes) (2 UFC/100ml), por encima del límite de detección. Estos valores se deben a que en el trayecto de la quebrada cruza caminos rurales y terrenos destinados a cultivos, pastos donde los agentes contaminantes serían directamente las personas y animales.

Por lo tanto, se debe tener en consideración la presencia de dichas especies en las aguas del manantial (M - 4), se recomienda clorar el agua para remover los coliformes existentes en casos de consumo Humano.

Tabla 41: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-4

INVENTARIO DE MANANTIALES				
QUEBRADA LA FALDA		COORDENADAS		COTA
CODIGO: M-4	N: 9234064	E: 801098	2866	
FECHA: 18/12/2016	FOTOGRAFIA:			
HORA: 13:56				
LOCALIZACION: Quebrada Atumpampa – La falda tiene su nacimiento en los manantiales de Atumpampa				
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS	
Quebrada	Permanente	Riego y Ganadería	ND	
INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA				
PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP	
		RESULTADO		
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO				
TURBIEDAD	UNT	0.80	5	
pH, a 18.5°C	--	8.24	6.5 - 8.5	
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	339	1500	
DUREZA	mg/L	200	500	
CLORUROS	mg/L	10	250	
FLUORUROS	mg/L	<0.02	2	
SULFATOS	mg/L	11	250	
NITRATOS	mg/L	2	50	
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07	
ALUMINIO	mg/L	0.026	0.2	
COBRE	mg/L	0.069	2	
CROMO	mg/L	<0.002	0.05	
HIERRO	mg/L	0.082	0.3	
MANGANESO	mg/L	0.245	0.4	
ZINC	mg/L	0.097	3	
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO				
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	5	0	
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	2	0	
FUENTE: Empresa prestadora de servicios SEDACAJ				
OBSERVACIONES:				

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS RIO CHIRIMAYO

El agua del Rio Chirimayo de la (M – 5) tiene un pH cercano a neutro o ligeramente básico (pH 7.49), La conductividad es de 258 uS/cm indicando un alto contenido en sustancias inorgánicas (buenos conductores). En cuanto a la dureza de agua en la quebrada la Viña registró un valor 160 mg/L. El cual se considera como agua dura o ligeramente dura (entre 150 y 300mgCaCo3 mg/L). estos altos valores nos indican la presencia de sales disueltas y carbonatos en agua. De acuerdo a estos resultados podríamos decir que esta agua esta en buena calidad.

El agua del Rio Chirimayo (M - 5), presentó una turbiedad de 1.29 UNT, por debajo del ECAs establecido para aguas que pueden ser potabilizadas y de consumo humano (5 UNT), Los bajos niveles de turbiedad se deben en general a la protección que ejercen la cobertura vegetal contra los procesos erosivos que siguen de las precipitaciones pluviales.


PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS.

Tal como se aprecia en la tabla 44, los parámetros bacteriológicos del Rio Chirimayo (M - 5), registra conteos de coliformes totales (9 UFC/100ml), por encima del límite máximo permisible para aguas de consumo humano (0 UFC/100ml), así como conteos de coliformes fecales (termotolerantes) (4 UFC/100ml), por encima del límite de detección. Estos valores se deben a que en el trayecto de la quebrada cruza caminos rurales y terrenos destinados a cultivos, pastos donde los agentes contaminantes serían directamente las personas y animales.

Por lo tanto, se debe tener en consideración la presencia de dichas especies en las aguas del Rio Chirimayo (M – 5), se recomienda clorar el agua para remover los coliformes existentes en casos de consumo Humano.

Podemos mencionar que el Rio Chirimayo tiene un agua de calidad para ser potabilizada y realizar el tratamiento solo contra la presencia de coliformes según los resultados de laboratorio.

Tabla 42: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-5

INVENTARIO DE MANATIALES				
RIO CHIRIMAYO		COORDENADAS		COTA
CODIGO:	M-5	N: 9233073	E: 801470	2905
FECHA:	18/12/2016	FOTOGRAFIA:		
HORA:	13:30			
LOCALIZACION:	Rio Chirimayo			
TIPO DE MANIFESTACION	Rio	REGIMEN	USO	OBRAS
		Permanente	Riego y Ganadería	ND
INFORME DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA				
PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP	
		RESULTADO		
ANÁLISIS FISICOQUIMICO				
TURBIEDAD	UNT	1.29	5	
pH, a 18.6°C	--	8.47	6.5 - 8.5	
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	258	1500	
DUREZA	mg/L	160	500	
CLORUROS	mg/L	8	250	
FLUORUROS	mg/L	<0.02	2	
SULFATOS	mg/L	8	250	
NITRATOS	mg/L	1	50	
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07	
ALUMINIO	mg/L	0.026	0.2	
COBRE	mg/L	0.041	2	
CROMO	mg/L	<0.002	0.05	
HIERRO	mg/L	0.027	0.3	
MANGANESO	mg/L	0.2	0.4	
ZINC	mg/L	0.074	3	
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO				
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	9	0	
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	4	0	
FUENTE: Empresa prestadora de servicios SEDACAJ				
OBSERVACIONES:				

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS RIO EL LIRIO

El agua del Rio el Lirio de la (M – 6) tiene un pH cercano a neutro o ligeramente básico (Ph 8.04), La conductividad es de 178 uS/cm indicando un contenido en sustancias inorgánicas (buenos conductores). En cuanto a la dureza de agua Rio Chirimayo registró un valor 240 mg/L. El cual se considera como agua dura (entre 150 y 300mgCaCo3 mg/L). estos altos valores nos indican la presencia de sales disueltas y carbonatos en agua. De acuerdo a estos resultados podríamos decir que esta agua está es de buena calidad.

El agua del Rio Chirimayo (M - 6), presentó una turbiedad de 1.25 UNT, por debajo del ECAs establecido para aguas que pueden ser potabilizadas y de consumo humano (5 UNT), Los bajos niveles de turbiedad se deben en general a la protección que ejercen la cobertura vegetal contra los procesos erosivos que siguen de las precipitaciones pluviales.


PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS.

Tal como se aprecia en la tabla 47, los parámetros bacteriológicos del Rio Chirimayo (M - 6), registra conteos de coliformes totales (5 UFC/100ml), por encima del límite máximo permisible para aguas de consumo humano (0 UFC/100ml), así como conteos de coliformes fecales (termotolerantes) (0 UFC/100ml). Estos valores se deben a que en el trayecto del Rio cruza caminos rurales y terrenos destinados a cultivos, pastos donde los agentes contaminantes serían directamente las personas y animales.

Por lo tanto, se debe tener en consideración la presencia de dichas especies en las aguas del Rio el Lirio (M – 6), se recomienda clorar el agua para remover los coliformes existentes en casos de consumo Humano.

Podemos mencionar que el Rio el Liro tiene un agua de buena calidad para ser potabilizada y realizar el tratamiento para remover la presencia de coliformes según los resultados de laboratorio.

Tabla 43: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-3

INVENTARIO DE MANATIALES				
RIO EL LIRIO		COORDENADAS		COTA
CODIGO:	M-6	N: 9233073	E: 801470	2905
FECHA:	18/12/2016	FOTOGRAFIA: 		
HORA:	16:55			
LOCALIZACION:	Rio El Lirio es un efluente del rio Chirimayo			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS	
Rio El Lirio	Permanente	Agricultura y ganadería	ND	
INFORME DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA				
PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP	
		RESULTADO		
ANÁLISIS FISICOQUIMICO				
TURBIEDAD	UNT	1.25	5	
pH, a 18.6°C	--	8.04	6.5 - 8.5	
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	178	1500	
DUREZA	mg/L	240	500	
CLORUROS	mg/L	8	250	
FLUORUROS	mg/L	<0.02	2	
SULFATOS	mg/L	6	250	
NITRATOS	mg/L	2	50	
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07	
ALUMINIO	mg/L	0.022	0.2	
COBRE	mg/L	0.097	2	
CROMO	mg/L	<0.002	0.05	
HIERRO	mg/L	0.179	0.3	
MANGANESO	mg/L	0.288	0.4	
ZINC	mg/L	0.094	3	
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO				
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	5	0	
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	0	0	
FUENTE: Empresa prestadora de servicios SEDACAJ				
OBSERVACIONES:				

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS MANANTIAL EL INGENIO

El agua del manantial el Ingenio (M – 7) tiene un pH cercano a la neutralidad o ligeramente básico (pH 7.49 u.e.), La conductividad es de 459 uS/cm indicando un alto contenido en sustancias inorgánicas (buenos conductores). El agua es de tipo calcio bicarbonato, como resultado de la interacción del agua con las calizas (calcita y dolomita). El calcio es el catión predominante en dicho manantial donde la dureza es de 280mg/L. El agua del manantial el Ingenio es utilizado para consumo humano así como también para piscigranga (criadero de truchas) presento una turbiedad de 0.34 UNT, por debajo del ECA establecido para aguas que pueden ser potabilizadas (5 UNT), los bajos registros de turbiedad se deben, a que en trayecto de los manantiales por el subsuelo este actúa como filtro en espacios reducidos y también se podría mencionar espacios de sedimentación hasta llegar a salir a la superficie.

PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

El manantial el Ingenio (M - 7), registra coliformes totales (3 UFC/100ml), por encima del límite máximo permisible para aguas de consumo humano (0 UFC/100ml), no registrando coliformes fecales (termotolerantes) (0 UFC/100ml). Por lo tanto, se recomienda clorar el agua para remover los coliformes totales existentes para tener un agua apta para el consumo humano.

Tabla 44: Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos muestra M-7


INVENTARIO DE MANANTIALES				
MANANTIAL EL INGENIO		COORDENADAS		COTA
CODIGO:	M-7	N: 9234018	E: 802360	2580
FECHA:	18/12/2016	FOTOGRAFIA:		
HORA:	14:45			
LOCALIZACION:	Manantial el Ingenio			
TIPO DE MANIFESTACION	REGIMEN	USO	OBRAS	
Manantial	Permanente	Piscigranja domestico y	Captación	
INFORME DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA				
PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP	
		RESULTADO		
ANÁLISIS FISICOQUIMICO				
TURBIEDAD	UNT	0.34	5	
pH, a 18.7°C	--	7.49	6.5 - 8.5	
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	459	1500	
DUREZA	mg/L	280	500	
CLORUROS	mg/L	14	250	
FLUORUROS	mg/L	<0.02	2	
SULFATOS	mg/L	11	250	
NITRATOS	mg/L	2	50	
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07	
ALUMINIO	mg/L	0.028	0.2	
COBRE	mg/L	0.039	2	
CROMO	mg/L	<0.002	0.05	
HIERRO	mg/L	0.023	0.3	
MANGANESO	mg/L	0.3	0.4	
ZINC	mg/L	0.065	3	
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO				
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	3	0	
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	0	0	
FUENTE: Empresa prestadora de servicios SEDACAJ				
OBSERVACIONES:				

Tabla 45: Resultados de análisis de laboratorio y caudales en cada punto de muestreo.

MUESTREO DE FUENTES DE AGUA							FECHA	: 18/12/2016	
RESULTADOS									
REGIÓN		CAJAMARCA							
PROVINCIA		CELENDIN							
DISTRITO		SOROCHUCO							
CENTRO POBLADO / ANEXO		UÑIGAN PULULO	EL PUQUIO	FARO BAJO	ATUMPAMPA	FARO BAJO	REJO PAMPA	EL INGENIO	
FUENTE		RIO UÑIGAN PULULO	PUQUIO CRUZ PAMPA	QUEBRADA LA VIÑA	QUEBRADA LA FALDA	RIO CHIRIMAYO	RIO EL LIRIO	MANANTIAL EL INGENIO	
PARAMETRO	UNIDAD	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	
TURBIEDAD	UNT	1.08	0.91	1.91	0.80	1.29	1.25	0.34	
pH, a 18.6°C	--	8.11	7.47	8.25	8.24	8.47	8.04	7.49	
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	210	450	411	339	258	178	459	
DUREZA	mg/L	170	250	290	200	160	240	280	
CLORUROS	mg/L	6	10	10	10	8	8	14	
FLUORUROS	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	
SULFATOS	mg/L	5	12	8	11	8	6	11	
NITRATOS	mg/L	2	1	1	2	1	2	2	
CIANURO	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	
ALUMINIO	mg/L	0.024	0.071	0.014	0.026	0.026	0.022	0.028	
COBRE	mg/L	0.108	0.248	0.044	0.069	0.041	0.097	0.039	
CROMO	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
HIERRO	mg/L	0.042	0.091	0.031	0.082	0.027	0.179	0.023	
MANGANESO	mg/L	0.146	0.2	0.3	0.245	0.2	0.288	0.3	
ZINC	mg/L	0.116	0.181	0.083	0.097	0.074	0.094	0.065	
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	8	4	6	5	9	5	3	
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	4	0	2	2	4	0	0	
CAUDAL (Q)	L/s	58.207	0.221	13.311	13.643	1509.401	267.575	1.063	
	m3/s	0.05821	0.000221	0.013311	0.013643	1.509401	0.26757	0.001063	

FUENTE: Empresa prestadora de servicios SEDACAJ

CAPÍTULO IX. ANALISIS DE RESULTADOS

9.1. GEOESTRUCTURAS

Para el proyecto de investigación se recopiló la información estructural como dip y dip direction de las fallas, fracturas, contactos geológicos determinados en campo. Para la obtención del cartografiado geológico – estructural a escala 1/ 20000, en el sistema de proyección geográfica UTM – WGS84.

9.1.1. DISCONTINUIDADES

Las discontinuidades determinadas en campo como fallas, diaclasas y planos de estratificación nos permiten ver la influencia de estas tanto en la hidrología como en la hidrogeología. Veremos cómo estas discontinuidades contribuyen a la red hídrica superficial y subterránea identificando la importancia hidrogeológica de estas discontinuidades en las diferentes estaciones estructurales tomadas para el análisis hidrogeológico.

ESTACIÓN E-01, E-02 Y E-03:

En esta estación los estratos se presentan un rumbo N - S con buzamiento en dirección Oeste, en contra de la pendiente de la superficie con una inclinación de 10°, lo que nos indica que los planos de estratificación contribuyen directamente con la hidrogeología aportando la mayor cantidad del agua hacia el macizo rocoso. Contribuyendo directamente a la permeabilidad secundaria, iniciando el proceso para la formación de manantiales kársticos debido a la composición calcárea del macizo rocoso.

Los grupos de discontinuidades desempeñan el papel de modeladores debido a que generan los planos de debilidad para la erosión siguiendo la tendencia de los

mismos. En las discontinuidades D1 podemos determinar que se presenta rumbo E- W, casi perpendicular al rumbo de los estratos y con un buzamiento de 85° hacia el Norte determinando que esta familia contribuye a la infiltración del agua superficial, así como también a la erosión en el lugar para la formación de caras empinadas debido a su alto buzamiento.

Las discontinuidades D1 y D3 se presentan cortando al macizo rocoso D3 con tendencia paralela al rumbo de los estratos y D1 con tendencia perpendicular al buzamiento de los estratos y las discontinuidades D2 se presentan de manera aleatoria a estas, de manera conjunta generan las condiciones para el origen de la porosidad secundaria y la formación de superficies empinadas.

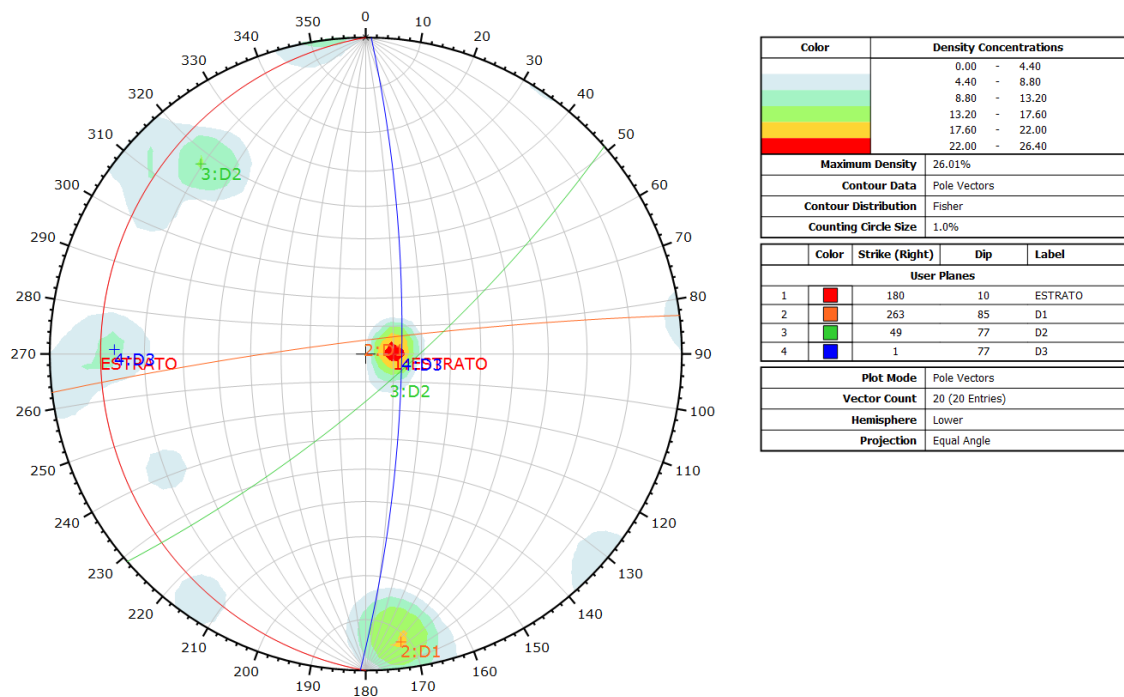


Grafico 10: Análisis de discontinuidades estaciones E-01, E-02 y E-03.

ESTACIÓN E-04:

En esta estación los estratos presentan un rumbo NE - SW con buzamiento en dirección NW, en contra de la pendiente de la superficie con una inclinación de 10°, lo que nos indica que los estratos contribuyen directamente con la hidrogeología aportando la mayor cantidad del agua hacia el macizo rocoso. Iniciando el proceso

para la formación de manantiales kársticos debido a la composición calcárea del macizo rocoso.

Los grupos de discontinuidades desempeñan el papel de modeladores debido a que generan los planos de debilidad para la erosión siguiendo la tendencia de los mismos. En las discontinuidades D1 podemos determinar que se presenta rumbo – NW - SE, casi perpendicular al rumbo de los estratos y con un buzamiento de 74° hacia el SW Y D2 con un rumbo NW – SE y buzamiento de 80 hacia el NE determinando que esta familia contribuye a la infiltración del agua superficial, así como también a la erosión en el lugar para la formación de caras empinadas debido a su alto buzamiento.

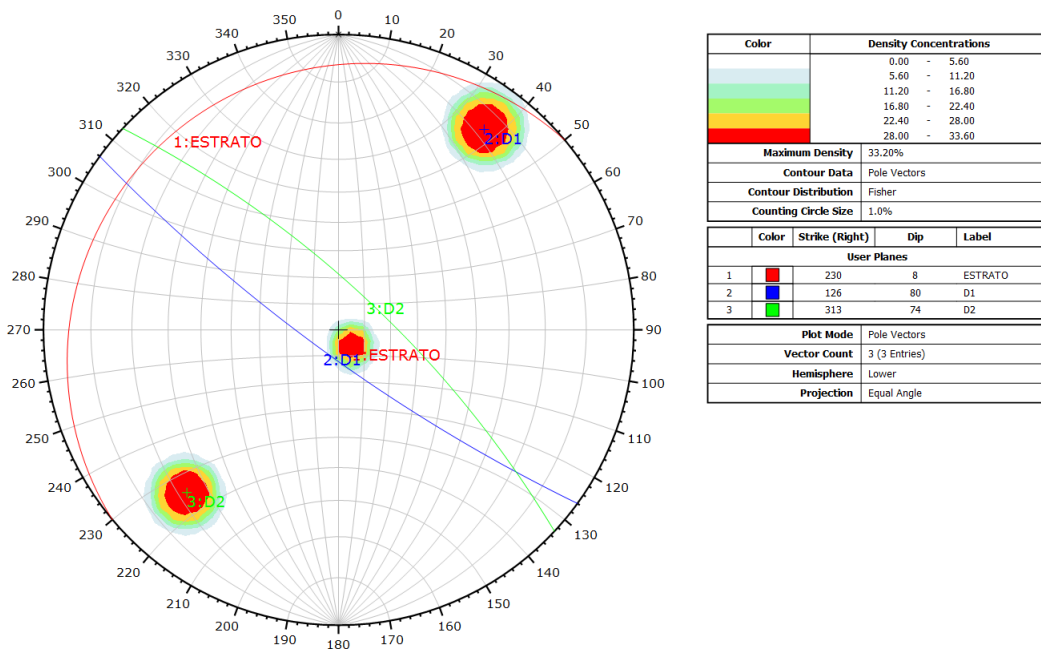


Grafico 11: Análisis de discontinuidades en las estaciones E-04.

ESTACIÓN E-05:

En esta estación los estratos presentan un rumbo NW - SE con buzamiento de 3° en dirección W, en contra de la pendiente de la superficie con una inclinación de 10°, lo que nos indica que los estratos contribuyen con la hidrogeología aportando la mayor cantidad del agua hacia el macizo rocoso. Iniciando el proceso para la formación de procesos kársticos.

Los grupos de discontinuidades desempeñan el papel de modeladores debido a que generan los planos de debilidad para la erosión siguiendo la tendencia de los mismos. En las discontinuidades D1 podemos determinar que se presenta rumbo – NW - SE, con tendencia paralela al rumbo de los estratos y con un buzamiento de 57° hacia el NE Y D2 con un rumbo SW – NE y buzamiento de 84 hacia el NE determinando que estas familias contribuyen a la infiltración del agua superficial, así como también a la erosión en el lugar para la formación de caras empinadas debido a su alto buzamiento.

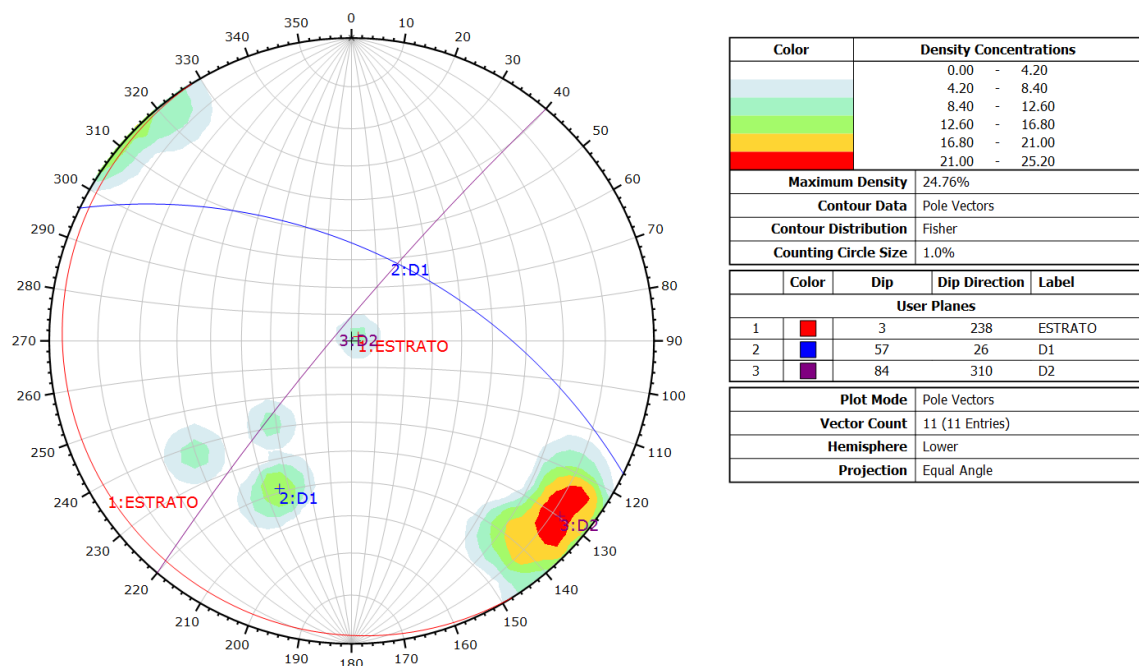


Gráfico 12: Análisis de discontinuidades en las estaciones E-05.

ESTACIÓN E-06:

En esta estación los estratos presentan un rumbo NW - SE con buzamiento en dirección SW, a favor de la pendiente de la superficie con una inclinación de 60°, lo que nos indica que los estratos aportan directamente a la hidrología.

Los grupos de discontinuidades desempeñan el papel de modeladores morfológicos debido a que generan los planos de debilidad para la erosión. En las discontinuidades D1 podemos determinar que se presenta rumbo NW - SE, con

tendencia paralela al rumbo de los estratos y con un buzamiento de 44°NE Y D2 con un rumbo NE – SW y buzamiento de 83°SE determinando que estas familias contribuyen a la infiltración del agua superficial.

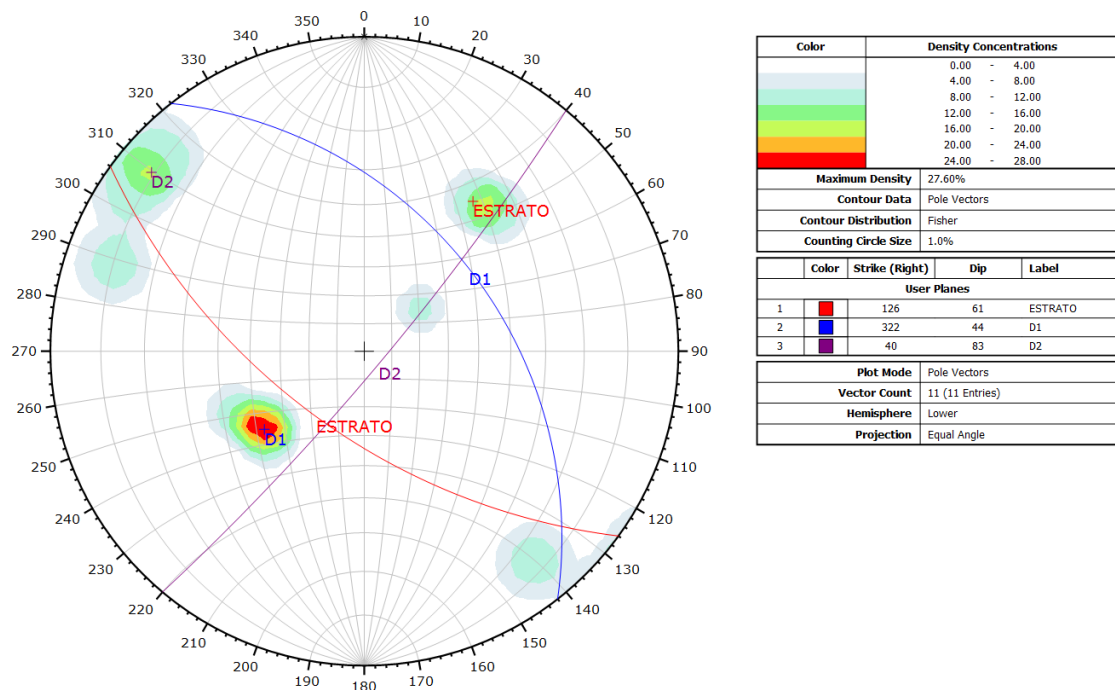


Grafico 13: Análisis de discontinuidades estaciones E-06.

ESTACION E-07:

En esta estación los estratos presentan un rumbo NE - SW con buzamiento en dirección SE, a favor de la pendiente de la superficie con una inclinación de 60°, lo que nos indica que los estratos aportan directamente a la hidrología.

Los grupos de discontinuidades desempeñan el papel de modeladores morfológicos debido a que generan los planos de debilidad para la erosión. En las discontinuidades D1 podemos determinar que se presenta rumbo – NW - SE, con tendencia perpendicular al rumbo de los estratos y con un buzamiento de 74°NE Y D2 con un rumbo NE – SW y buzamiento de 73°SE, determinando que estas familias contribuyen a la infiltración del agua superficial.

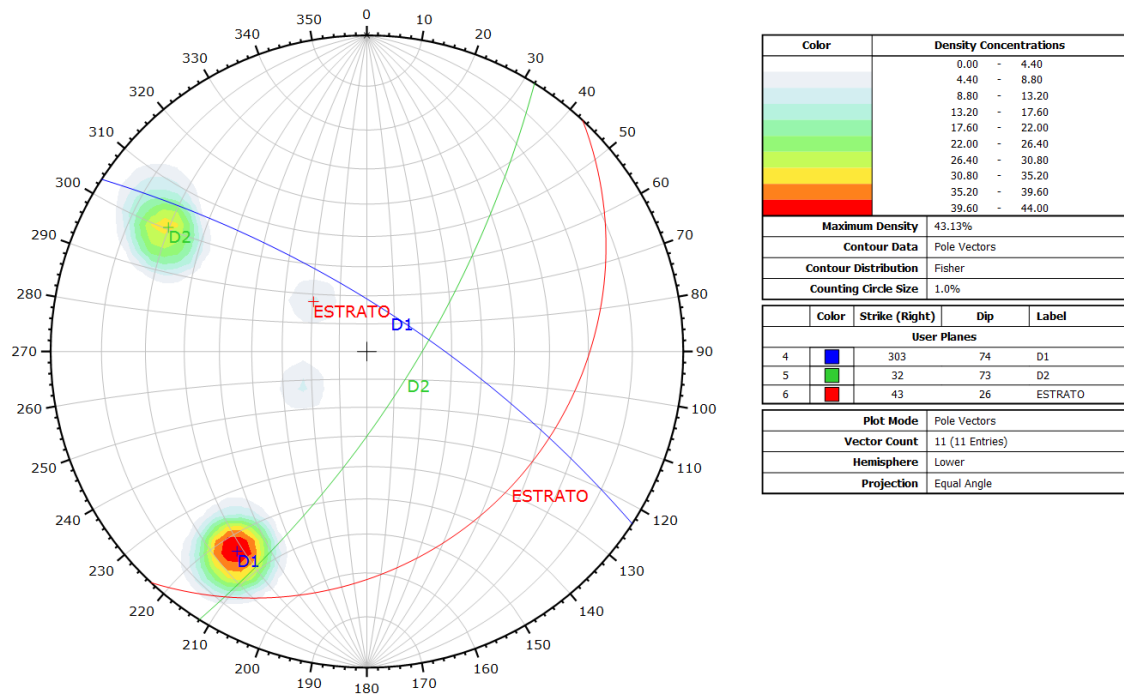


Grafico 14: Análisis de discontinuidades en las estaciones E-07.

ESTACION E-08:

En esta estación los estratos presentan un rumbo SW - NE con buzamiento en dirección NW, en contra de la pendiente de la superficie con una inclinación de 1°, lo que nos indica que los estratos aportan directamente a la hidrología.

Los grupos de discontinuidades desempeñan el papel de modeladores morfológicos debido a que generan los planos de debilidad para la erosión. En las discontinuidades D1 podemos determinar que se presenta rumbo NW - SE, con tendencia perpendicular al rumbo de los estratos y con un buzamiento de 84°NE, Y D2 con un rumbo NE - SW y buzamiento de 80°SE determinando que estas familias contribuyen a la infiltración del agua superficial.

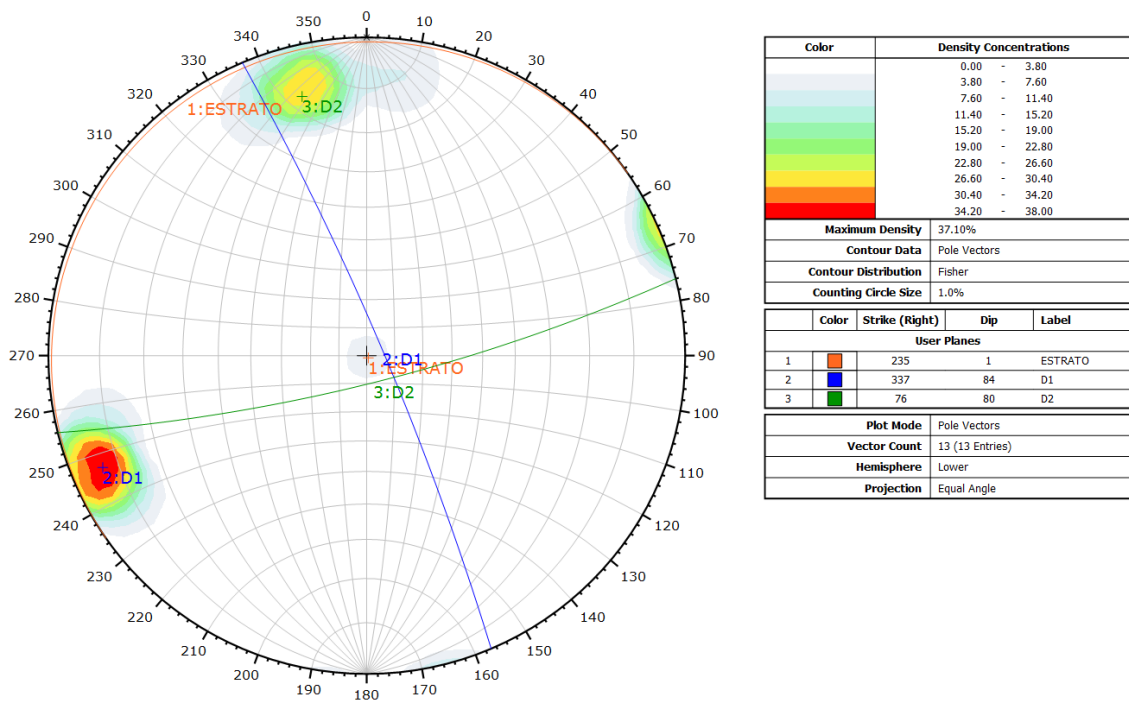


Grafico 15: Análisis de discontinuidades en las estaciones E-08.

9.2. GEOMORFOLOGIA

La geomorfología de la zona se analiza teniendo en cuenta las unidades geomorfológicas en función de la pendiente. Hidrogeológicamente las unidades de mayor interés se encuentran los geoindicadores externos de la karstificación como son las dolinas, lenares y sumideros; indicando una importante aportación al sistema hídrico subterráneo.

5.5.1. UNIDADES MORFOLOGICAS

Las unidades geomorfológicas nos muestran que el 52% del área de investigación está conformada por lomadas con una pendiente entre 8° y 20° , seguido de lomadas con un 29% del área total con una pendiente entre 20° y 50° , y un 10% de Planicie con una pendiente entre 0° y 8° , y las unidades con menos extensión son las escarpas 7% del área, siendo una cifra importante debido a que representan pendientes sobre los 50° .

Tabla 46: Unidades geomorfológicas.

UNIDAD GEOMORFOLOGICA	PENDIENTE	AREA		PORCENTEJE
		m2	km2	
Planicie	0° - 8°	3210485.723	3.210	10.469
Lomada	8° - 20°	16120025.322	16.120	52.566
Ladera	20° - 50°	8912492.742	8.912	29.063
Escarpa	50° - 90°	2423069.309	2.423	7.901

El modelo morfohidrológico nos permite identificar la dirección de la corriente en la superficie, así como también en donde hay mayor pendiente en la superficie del terreno, el sistema hidrológico en el modelo puede identificar la zona con presencia de exokarst como las dolinas en donde la dirección de la corriente es hacia el centro como un sistema hidrológico cerrado.

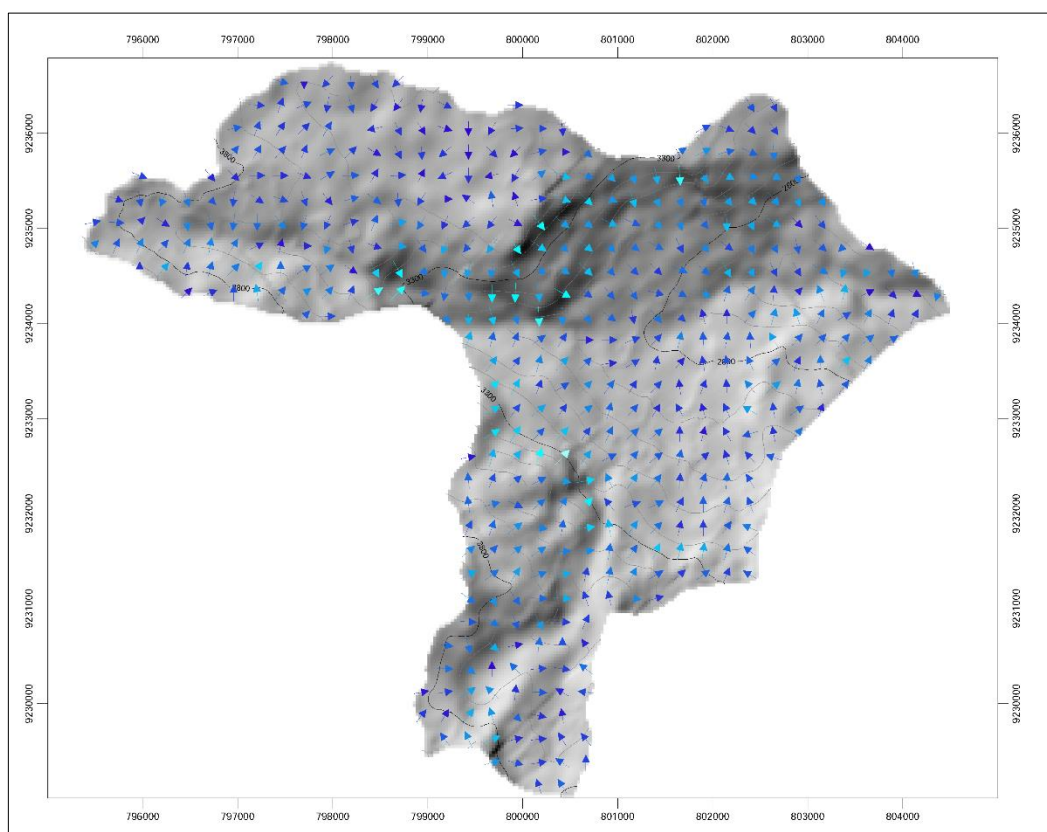


Imagen 10: Modelo hidrológico dirección de flujo superficial.

9.3. HIDROGEOLOGÍA

9.3.1. ZONAS DE RECARGA

La recarga hídrica es el proceso mediante el cual el agua alimenta a los acuíferos. Este proceso ocurre cuando la lluvia se filtra hacia un acuífero a través del suelo o roca.

La recarga es el proceso de incorporación de agua a un acuífero producido a partir de diversas fuentes: la precipitación, las aguas superficiales y por transferencia de otro acuífero. Los métodos para la estimación son diversos en nuestra investigación utilizamos el balance hidrológico.

Para entender el funcionamiento del sistema de aguas subterráneas se realizó el modelamiento numérico teniendo en cuenta los principales procesos físicos que determinan el ciclo de aguas subterráneas, los que se conceptualizaron son Drenaje se considera que el sistema de drenaje solo sale del sistema, recarga hídrica nos indica que es el excedente hídrico de la precipitación que ingresa al sistema de agua subterránea y representa el principal ingreso de agua al sistema, la evapotranspiración es la descarga del agua subterránea.

Para el modelo se consideró cuatro acuíferos, los depósitos cuaternarios (potencia = 15m, $k = 1e-5$) volcánico porculla (potencia = 200, $K = 4.5e-8$) la formación Pulluicana (potencia = 1000m, $k = 4e-7$) Intrusivo dacítico alterado (potencia = 100, $K = 4e-8$); los valores de k han sido tomados de la USGS (Basic ground – water hydrology) y ajustados para el modelo, y se realiza con una calibración estática de los acuíferos.

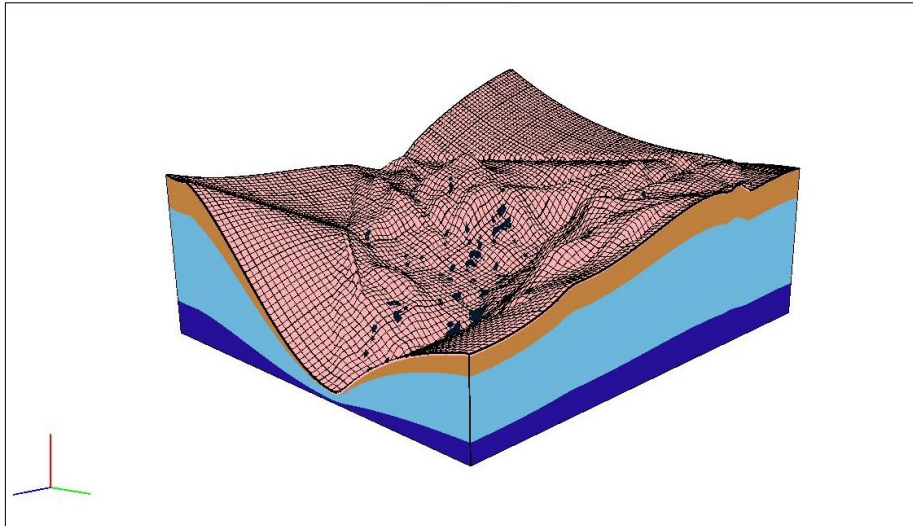


Imagen 11: Modelo Hidrogeológico de acuíferos

Se analizó dos secciones transversales ubicadas estratégicamente para determinar las zonas de recarga y el comportamiento del sistema subterránea o hidrogeológico. En la siguiente figura se analizó a sección transversal N-S de coloración azul oscuro como se muestra en la imagen.

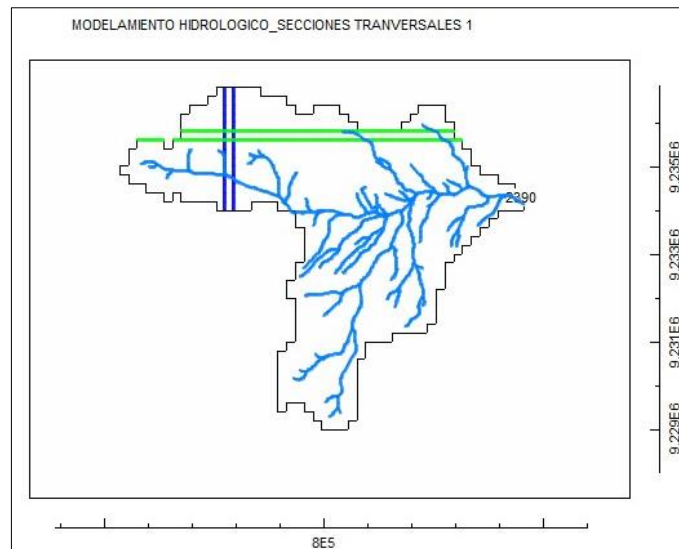


Imagen 12: Secciones Hidrogeológicas 1 – Análisis sección N-S

La siguiente sección se realizó en la zona de geoindicadores karstisco como los lenares y las dolinas. En la sección se puede determinar que el nivel freático en algunas partes está al nivel de la superficie, desde un punto de vista del modelo numérico se podría decir que se trata de un bofedal pero con las observaciones de

Según el modelo se puede determinar que el sistema de aguas subterránea es mucho más alto en las partes altas que en las partes bajas debido a que en las partes altas llueve más y hay menos temperatura. Y también se puede determinar que el nivel freático en algunos cerros está más bajo esto debido a que las rocas en esos lugares presentan alta conductividad hidráulica a diferencia de otras partes donde el nivel freático se encuentra más cercano a la superficie debido a que estas rocas presentan baja conductividad hidráulica. Esto en base a los datos calibrados y observados en campo.

Entonces se puede determinar zonas de recarga luego una infiltración y una zona de salida debido a que el agua busca la línea de máxima gradiente, perpendicular a las líneas equipotenciales.

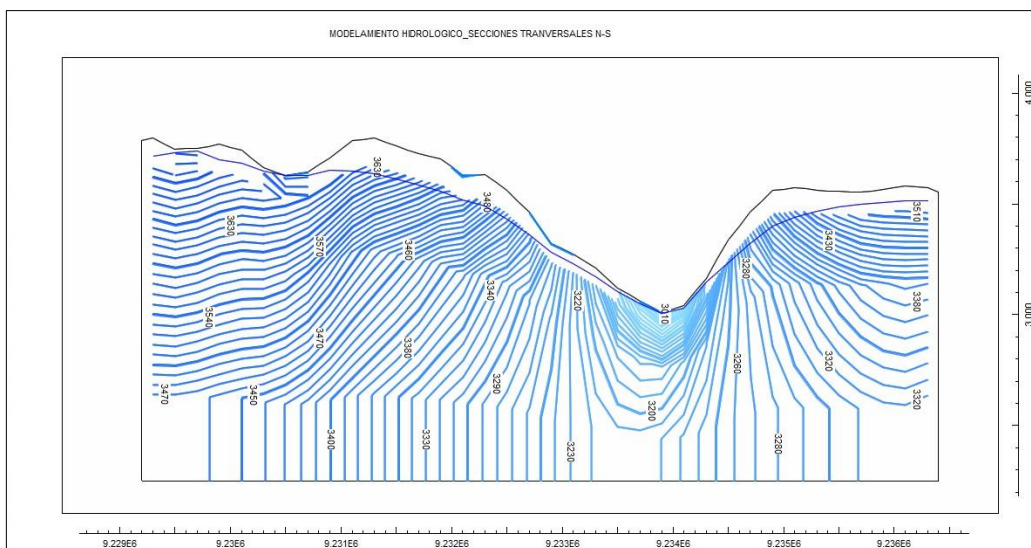


Imagen 15: Sección Hidrogeológica 2 – sección N-S

9.3.2. BALANCE HIDROLOGICO

La evaluación de los recursos hídricos requiere una correcta estimación del balance hidrológico o de la repartición entre evapotranspiración, escorrentía y recarga de acuíferos.

Para realizar el balance hídrico de la zona de investigación se utilizó una metodología de análisis espacial de balance hídrico en cuencas andinas.

Comenzando por la obtención de datos y correlaciones hasta la generación de mapas temáticos de los principales componentes del ciclo hídrico.

Mediante modelos numéricos se triangula la información de las estaciones meteorológicas más cercanas a las coordenadas del Centroides del área de investigación, tomando como límites la cota máxima y cota mínima de la subcuenca, obteniendo datos de la parte alta y de la parte baja de la subcuenca.

Según el balance hídrico la parte alta de la subcuenca recibe mayor cantidad de precipitación (771.330 mm al año) pero la evapotranspiración (968.040mm al año) es mucho mayor que la precipitación, con un excedente hídrico de 99.970 mm al año, lo que nos indica que en la parte alta de la subcuenca existe un excedente hídrico relativamente mayor que en la parte baja de la subcuenca debido a que hay meses en los que la precipitación es mayor que la evapotranspiración.

Tabla 47: Balance Hidrológico parte alta de la subcuenca.

DATOS PARTE ALTA DE LA SUBCUENCA					
ELEVACION (msnm)	MES	PRECIPITACION (mm)	EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm)	EXCEDENTE HIDRICO (mm)	RECARGA REFERENCIAL (mm)
3941	Enero	107.73	87.90	19.83	9.915
	Febrero	110.10	87.44	22.66	11.33
	Marzo	125.87	79.71	46.16	23.08
	Abril	63.29	71.02	0	0
	Mayo	25.39	68.55	0	0
	Junio	1.58	71.64	0	0
	Julio	4.46	75.22	0	0
	Agosto	10.21	79.90	0	0
	Septiembre	44.09	79.15	0	0
	Octubre	92.09	87.21	4.88	2.44
	Noviembre	94.58	88.14	6.44	3.22
	Diciembre	91.94	92.16	0	0
	ANUAL		771.330	968.040	99.970

En la parte baja de la subcuenca se observa que la precipitación es relativamente baja en comparación con la parte alta de la subcuenca, pero presenta mayor evapotranspiración potencial (1208.04mm al año) teniendo un excedente hídrico muy bajo (12.56mm al año) y una recarga referencial (6.28 mm al año) muy baja.

Tabla 48: Balance Hidrológico parte baja de la subcuenca.

DATOS PARTE BAJA DE LA SUBCUENCA					
ELEVACION (msnm)	MES	PRECIPITACION (mm)	EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm)	EXCEDENTE HIDRICO (mm)	RECARGA REFERENCIAL (mm)
2379	Enero	77.11	102.56	0	0
	Febrero	86.46	102.34	0	0
	Marzo	107.59	95.03	12.56	6.28
	Abril	77.51	87.2	0	0
	Mayo	38.03	87.51	0	0
	Junio	14.99	94.17	0	0
	Julio	12.95	103.11	0	0
	Agosto	16.67	105.69	0	0
	Septiembre	43.11	104.16	0	0
	Octubre	83.03	107.4	0	0
	Noviembre	74.28	109.44	0	0
	Diciembre	67.43	109.43	0	0
	ANUAL	699.16	1208.04	12.56	6.28

En el siguiente grafico podemos observar que la precipitación en la parte alta y baja de la subcuenca tienen una pequeña diferencia, donde en la parte baja hay menos precipitación y la parte alta hay más precipitación.

La evapotranspiración muestra que en la parte alta hay menor consumo de agua por las plantas y en la parte baja hay mayor consumo de agua por eso en la parte alta tenemos menor evapotranspiración que en la parte baja.

El excedente hídrico nos indica que todo lo disponible como recarga y escorrentía va ser mucho menor en las partes bajas y mayor en las partes altas. Y luego tenemos la recarga referencial que es el 50% del excedente hídrico también nos muestra que es menor en las partes bajas y mayor en las partes altas.

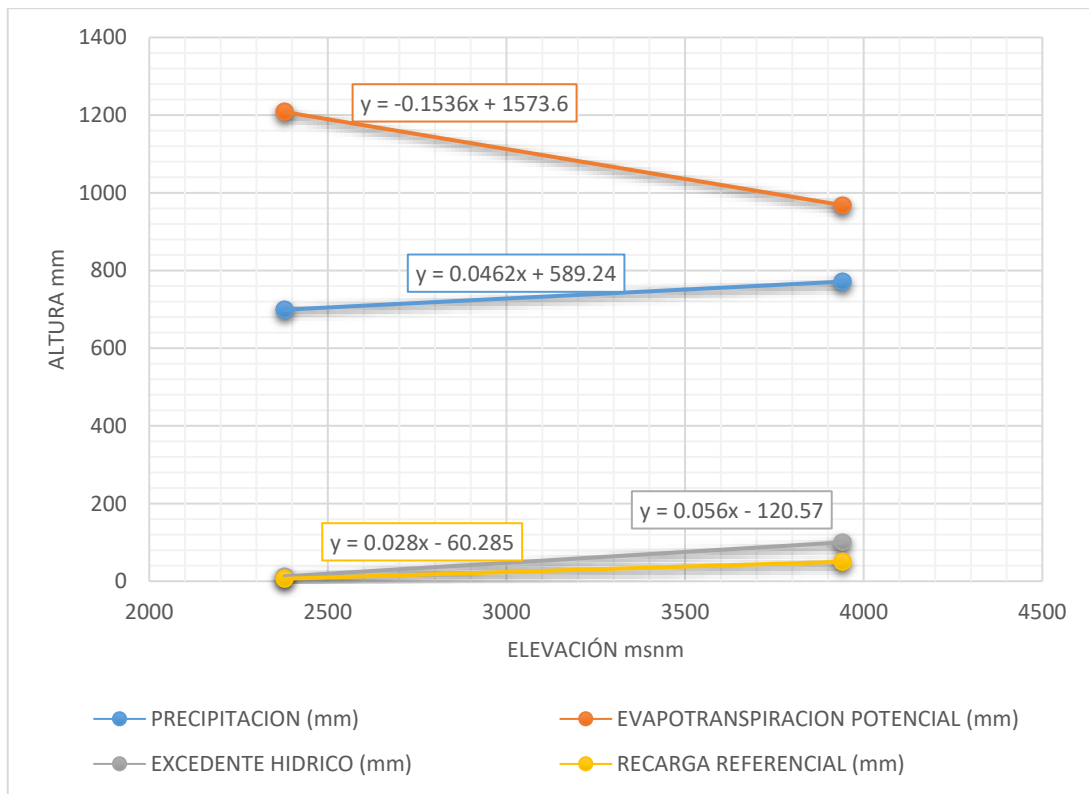


Grafico 16: Análisis del balance hidrológico para toda la subcuenca.

9.3.3. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.

TURBIEDAD

Para el análisis de este parámetro se omitió los resultados de la muestra M-3 debido a que estaba fuera de la tendencia con un valor muy elevado motivo a que en el momento de toma de la muestra se encontró que recién se había removido un terreno a la rivera de esta quebrada.

La Línea de tendencia polinómica de grado 3 indica las fluctuaciones de la turbiedad con valores máximos en los ríos, quebradas y valores mínimos en los manantiales arrojando un $R^2 = 0.91$ dando la confiabilidad del análisis y calidad de resultados.

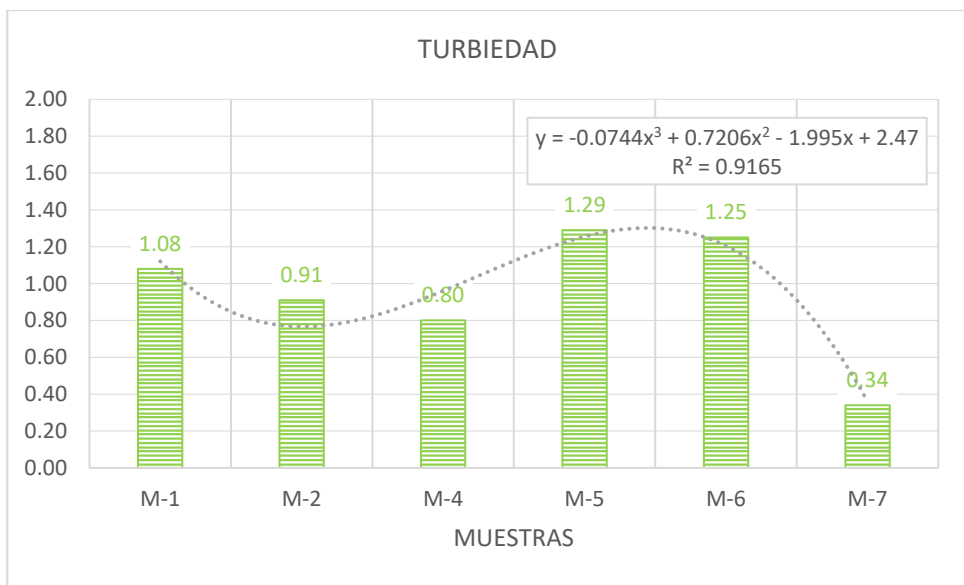


Gráfico 17: Línea de tendencia Polinómica para la turbiedad

Las muestras presentan valores muy por debajo de los límites permisibles según el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA) el valor máximo de turbiedad es 5.

los sólidos en suspensión pueden ser de origen antrópicos, animales y erosión, por este motivo se analiza este parámetro frente a los coliformes totales y termotolerantes.

En la siguiente tabla se analiza la turbiedad frente al contenido en coliformes totales y termotolerantes, por motivo de análisis se pondero con el 0.5 al valor real de coliformes totales. Las líneas de tendencia indican la relación entre la turbiedad y la presencia de coliformes totales estando en la misma linealidad las fluctuaciones en ambas gráficas, las coliformes termotolerantes no guardan ninguna relación con la turbiedad debido a que presentan otra línea de tendencia. Por lo tanto podemos decir que a mayor turbiedad hay mayor contenido de coliformes totales en las muestras analizadas.

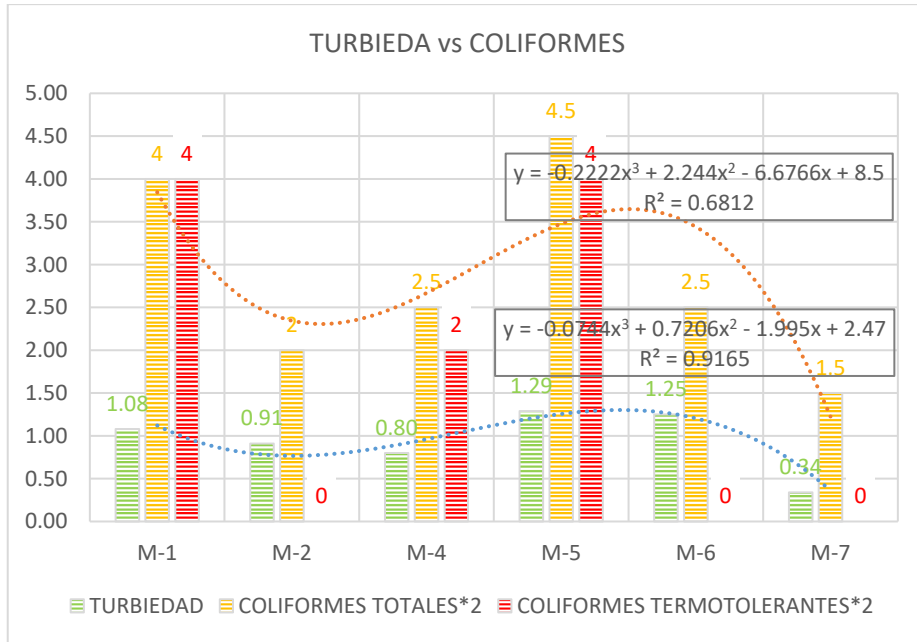


Gráfico 18: Línea de tendencia Polinómica para la Turbiedad vs Coliformes

pH, a 18.6°C

En la gráfica siguiente se muestra una tendencia polinómica con valores máximos en las muestras de los ríos y quebradas (M-1, M-3, M-4, M-5 y M-6) los valores mínimos en los manantiales M-2 y M-7. Según el D.S. N° 031-2010-SA los valores de pH para agua de consumo humano se encuentran entre 7.5 y 8.5 entonces podemos decir que las muestras de ríos y quebradas están dentro de los límites permisibles para consumo humano y las muestras de los manantiales M-2 y M-7 están por debajo de los Límites permisibles.

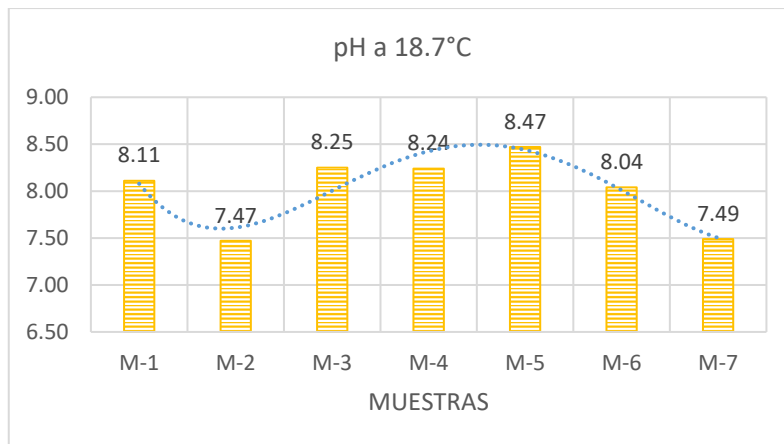


Gráfico 19: Línea de tendencia Polinómica para el pH a 18.7°C

CONDUCTIVIDAD

La conductividad es una manera sencilla de medir la calidad del agua según el D.S. N° 031-2010-SA el valor máximo permisible es de 1500 $\mu\text{mho/cm}$ a una temperatura de 25°C. se logró determinar los valores máximos en las muestras (M-7 y M-2) referentes a las muestras de manantiales y los valores más bajos referente a ríos y quebradas.

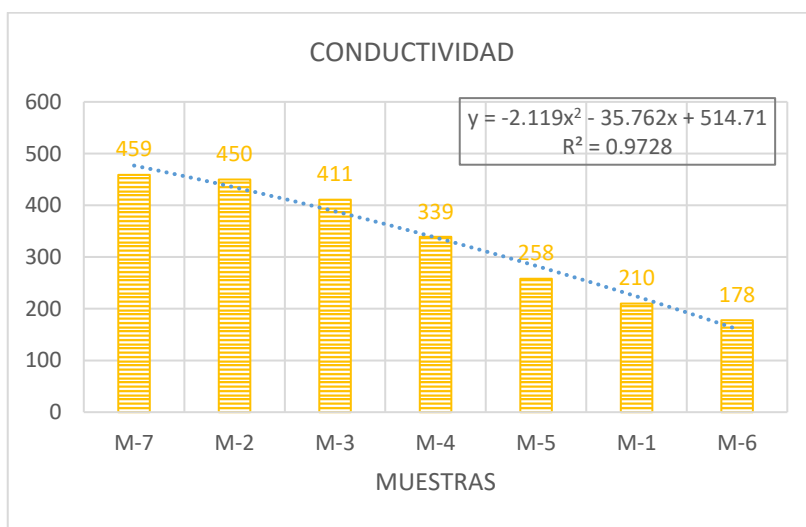


Gráfico 20: Línea de tendencia Polinómica para la conductividad

En el siguiente gráfico se analiza la conductividad en relación con la turbiedad debido a que los componentes inorgánicos son buenos conductores y los componentes orgánicos malos conductores. Demostrándose en la tabla siguiente en donde tenemos para las muestras con valores bajos en turbiedad tienen valores altos en conductividad (M-2 y M-7) y las muestras con valores altos en turbiedad muestran valores bajos en conductividad.

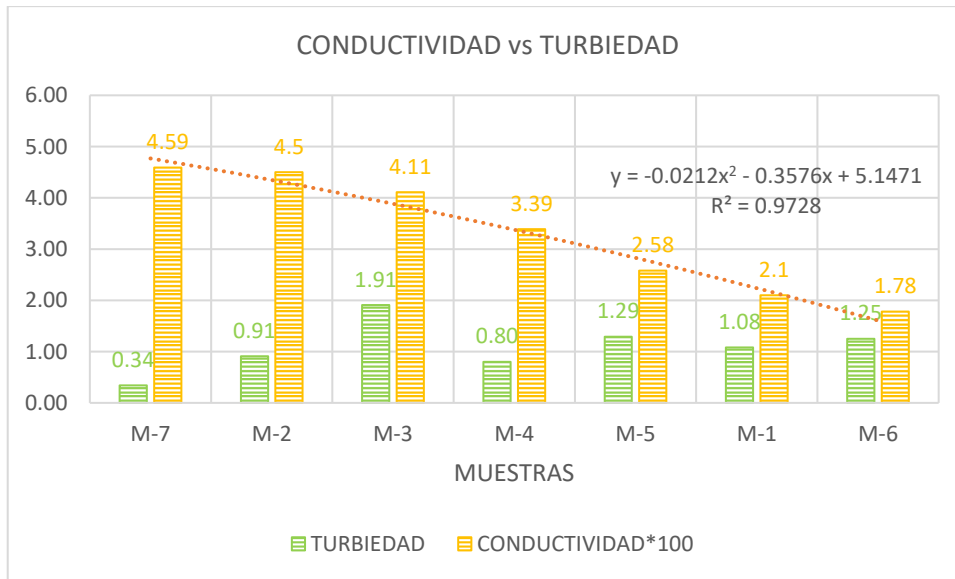


Gráfico 21: Conductividad multiplicada por 100 vs Turbiedad

DUREZA

Este parámetro está determinado por la cantidad de minerales presentes en el agua generalmente sales de magnesio y calcio procedentes de las rocas carbonatadas como las calizas de la formación Pulluícana.

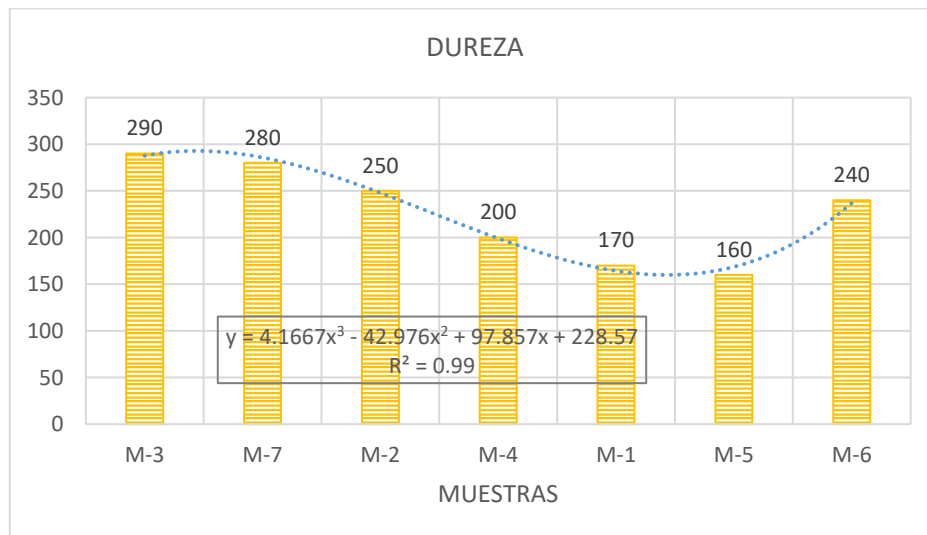


Gráfico 22: Tendencia polinómica de la Dureza

En la gráfica siguiente se puede analizar la dureza en función al contenido en magnesio de todas las muestras. Ambas graficas muestran una tendencia polinómica permitiendo su análisis, las muestras M-3 y M-7 procedentes de

manantiales presentan valores elevados de dureza y contenido en magnesio indicando que estos manantiales están circulando directamente en rocas carbonatadas como las calizas y además estos manantiales presentan caudales importantes lo que nos indica que son manantiales kársticos.

La muestra M-2 correspondiente a manantial presenta un contenido promedio de dureza y en magnesio esto nos indicaría que este manantial recorre poca distancia en un medio calcáreo ya que se encuentra próximo a los geindicadores kársticos. Las de más muestras corresponden a los ríos y quebradas.

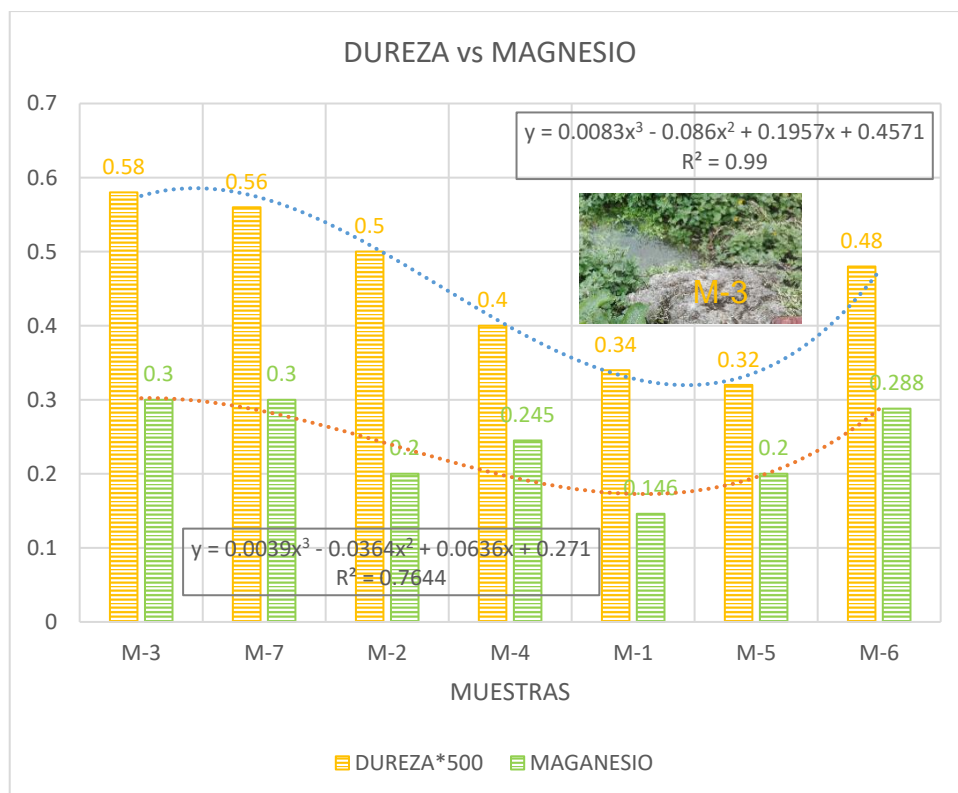


Gráfico 23: Tendencia polinómica de la Dureza vs magnesio

CLORUROS

Los cloruros son sales que resultan de la combinación del gas cloro (ion negativo) con un metal (ion positivo).

Según la gráfica podemos analizar que los cloruros presentes en el agua no superan los 10 mg/L. según D.S. N° 031-2010-SA el límite máximo permisible para aguas de consumo humano está por debajo de los 250 mg/L. En las muestras

obtenidas se puede apreciar una tendencia polinómica aceptable indicando la relación manantial – quebrada presentando valores superiores en las muestras provenientes de los ríos y valores bajos en las muestras provenientes de los manantiales.

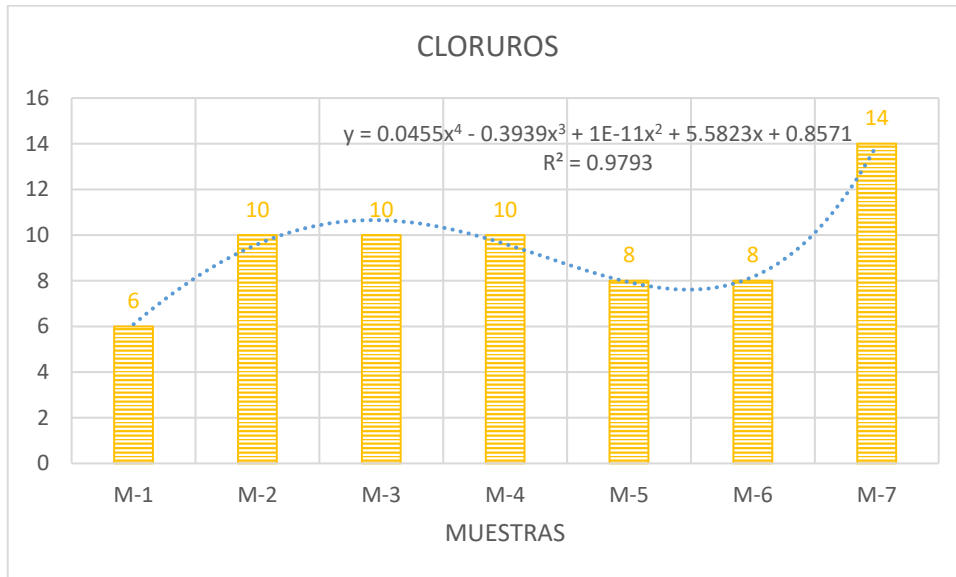


Gráfico 24: Tendencia polinómica del contenido en cloruros.

SULFATOS

Según el D.S. N° 031-2010-SA el límite máximo permisible en contenido de sulfatos es de 250mg/L. los sulfatos en concentraciones elevadas superior a los 500mg/L tiene efectos gastrointestinales.

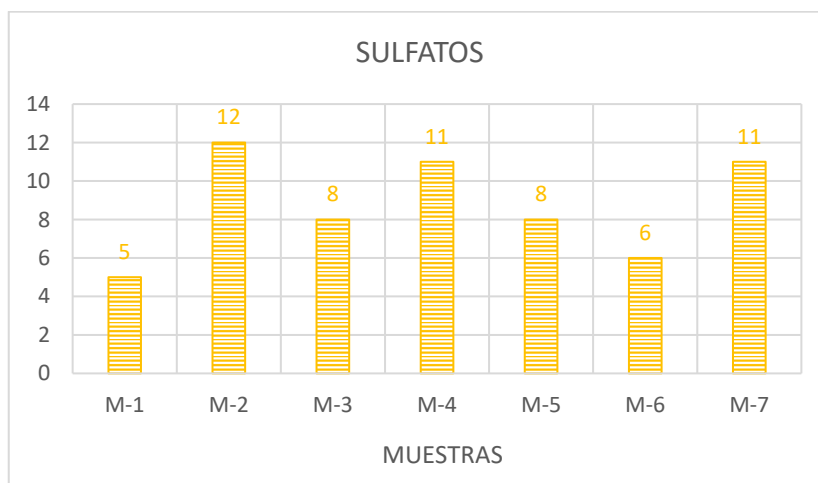


Gráfico 25: Contenido en sulfatos.

NITRATOS

Según el D.S. N° 031-2010-SA el límite máximo permisible en contenido de nitratos es de 50mg/L. el contenido de nitritos es relativamente bajo estando dentro de los límites permisibles para consumo humano.

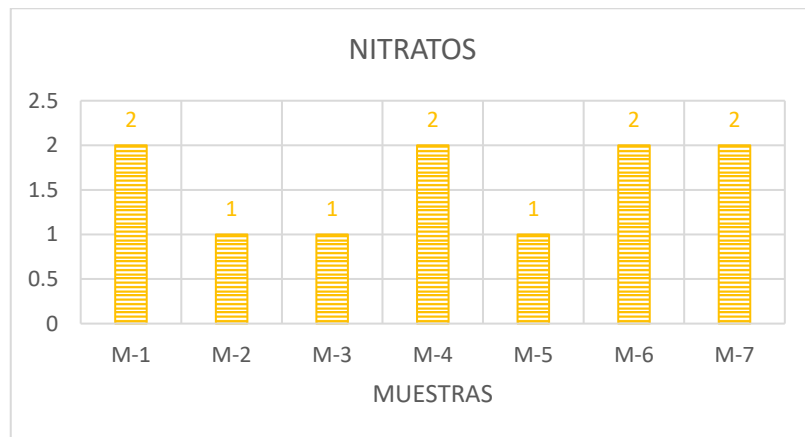


Grafico 26: Contenido en nitratos.

METALES

El contenido de metales como: Aluminio, Cobre, Hierro y Zinc presentan valores similares en las muestras, sin embargo, se presentan algunas anomalías en las muestras M-2 en cobre 0.248mg/L, y M-6 en Hierro 0.179mg/L; estos valores se deberían a que estos manantiales en algún punto de su trayectoria estarían en contacto con sedimentos como arcillas o material orgánico particulado; e interacción entre sedimento y agua.

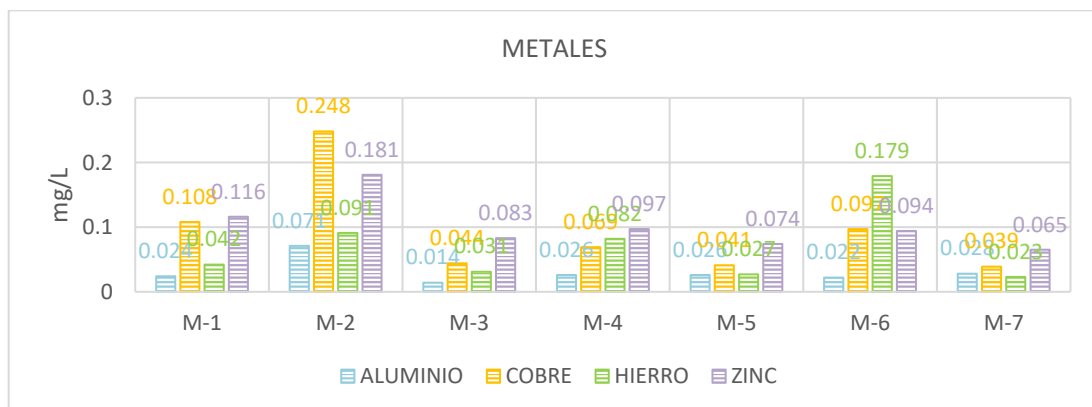


Grafico 27: Tendencia polinómica del contenido en metales.

CONCLUSIONES

- Según el análisis estructural, las discontinuidades como fallas y diaclasas permiten la infiltración directa del agua al sistema hidrológico subterráneo.
- Las estaciones estructurales nos indican que los planos de estratificación presentan buzamientos entre 2° y 10°, haciendo que la infiltración del agua sea lenta debido a que se encuentran inclinados en contra de las líneas de máxima gradiente.
- Estructuralmente la zona de investigación se encuentra en un ambiente distensivo presentando un alineamiento preferente noroeste – sureste la mayoría de fallas.
- Se registró 39 manantiales presentes en el área de investigación, los mismos que están aprovechando las fallas para permitir la descarga de los acuíferos.
- El modelo de dirección de flujo superficial nos indica que en esta zona el agua discurre superficialmente en dirección al centro de las manifestaciones kársticas (dolinas), permitiendo la infiltración directa del agua.
- Según el modelamiento hidrogeológico y el balance hidrológico la recarga de acuíferos se encuentra en las partes altas de la subcuenca y tiende a descargar en las partes bajas.
- Según el análisis fisicoquímico de muestras, medida de caudales y observaciones de campo los manantiales de la localidad de Atunpampa están relacionados con los karst presentes en la localidad de Cruzpampa.

RECOMENDACIONES

- Para realizar el modelamiento hidrogeológico se recomienda realizar las pruebas hidráulicas necesarias en cada uno de las unidades hidrogeológicas o acuíferos.
- Realizar estaciones estructurales, buscar material de falla y identificar indicadores de fallas para definir la presencia y ubicación de las fallas que fueron inferidas para la presente investigación.
- Realizar un mapeo detallado de las estructuras kársticas en la localidad de Cruzpampa.
- Realizar un método de trazadores teniendo uno o más puntos de inyección en la localidad de Cruzpampa y como puntos de detección los manantiales de la localidad de Atunpampa, para determinar su relación.

BIBLIOGRAFIA

- Custodio, Emilio. (2001). Hidrología subterránea. Segunda Edición. Ediciones Omega, S. A., Barcelona 2001.
- Donald M. Ragan (1987). GEOLOGÍA ESTRUCTURAL. Introducción a las Técnicas Geométricas. Ediciones Omega, S. A., Barcelona, 1987.
- Stanley N. Davis, Roger J. De Wiest (1966). Hidrogeología. Ediciones Wiley 1966.
- Frederic H Lahee. (1979). Geología Practica. Ed. OMEGA.
- L. U. DE SITTER (1976) Cuarta Edición. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL. Ediciones Omega, S. A., Barcelona, 1976.
- Luis I. Gonzales de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuña, Carlos Oteo. (2006). INGENIERIA GEOLOGICA. Editora. ORYMU, S. A.
- Monsalve, S. G. (1999). Hidrología en la Ingeniería. Edit. Alfa Omega, 2da edición.
- DAVILA, J. (2001), Diccionario Geológico, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima – Perú.
- REYES L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, y Cajabamba Instituto Nacional Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- RAGAN, Donal (1987). Geología Estructural. Ediciones Omega S.A. Barcelona – España.
- TOLMAN C. F. (1937). Agua Subterránea, Ediciones McGraw-Hill, 1937.
- CIIDIR IPN. (2012), Cloruros Totales En El Agua De Abastecimiento. Ediciones Sigma 119, Durango México.
- BUESO CAMPOS ML (2010). Identificación y caracterización de las zonas con mayor potencial de recarga hídrica en las subcuencas de los ríos taco y shusho, Guatemala.

LINKOGRAFIA

- <http://hidrologia.usal.es/hidro.htm>
- <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Nitratos/Welcome.asp>
- <https://wgnhs.uwex.edu/water-environment/karst-sinkholes/>
- <https://www.agw.kit.edu/english/3851.php>
- https://prezi.com/6omfwbfq9_nz/geomorfologia-karstica/
- <http://geomorfologia4ep.blogspot.pe/2011/12/modelado-karstico.html>
- <http://www.ciclohidrologico.com/>
- https://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/el_ciclo_del_agua.html
- <http://slideplayer.com.br/slide/1258014/>
- <http://es.slideshare.net/JoseManuelAurisAparco/7-permeabilidad-en-suelossss>
- http://www.aqtesolv.com/aquifer-tests/aquifer_properties.htm

ANEXOS	Pag.
Planos.....	130