

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



TESIS PROFESIONAL

**ANÁLISIS LITOMORFOESTRUCTURAL Y SU RELACIÓN CON EL
COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO EN LA SUBCUENCA RÍO
HUALGAYOC.**

HUALGAYOC - CAJAMARCA.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTADO POR:

Bach. LUIS ALFREDO AGUILAR LLATAS

ASESOR:

Mg. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

CAJAMARCA - PERÚ

2018

DEDICATORIA

A Dios:

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi padre Teodoro Aguilar

Por el ejemplo de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha inculcado siempre para nunca declinar en mis objetivos trazados, por el valor mostrado y además por el sacrificio laboral realizado para poder salir adelante y por su amor constante.

A mi madre Erlinda Llatas

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su dedicación y amor que me da cada día.

A mis hermanos:

Elmer, Rosa, Ely, Cesar, Obet, Milagros, por sus consejos y apoyo incondicional durante mi etapa universitaria. A mi sobrino Jeanfranco Cholan Aguilar por su espontaneidad y cariño que me brinda diariamente.

LALCL

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por haberme acogido durante los 5 años de estudios para mi formación profesional.

A cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería - Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica que con sus valiosas enseñanzas impartidas en las aulas de nuestra facultad contribuyeron ampliamente en mi formación académica.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi asesor de Tesis, Ing.Reinaldo Rodríguez Cruzado, por sus enseñanzas como docente y apoyo sincero en el desarrollo de la presente tesis.

CONTENIDO	Pág
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO	iv
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
LISTA DE FOTOS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del Problema	1
Formulación del Problema	2
Justificación de la Investigación	2
Alcances y Delimitación de la Investigación	2
Limitaciones	2
Objetivos	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
2.1.1 Antecedentes Internacionales	4
2.1.2 Antecedentes Nacionales	5
2.1.3 Antecedentes Locales	5
2.2 BASES TEÓRICAS	6
2.2.1 Unidades Litomorfoestructurales	6
2.2.2 Hidrología	10
2.2.3 Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca (PGC)	14
2.2.4 Hidrogeología	26
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	37

	Pág
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1 Generalidades	39
3.1.1 Ubicación	39
3.1.2 Accesibilidad	39
3.1.3 Clima y Vegetación	40
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.2.1 Materiales y Equipos	41
3.2.2 Descripción y Tipo de Instrumento de Investigación	41
3.3 Metodología de la Investigación	41
3.3.1 Etapa Preliminar de Gabinete	41
3.3.2 Trabajo de Campo	41
3.3.3 Trabajo de Gabinete	42
3.3.4 Tipo de Investigación	43
3.3.5 Método de Investigación	43
3.4 GEOLOGÍA LOCAL	43
3.4.1 Estratigrafía	43
3.4.2 Depósitos Cuaternarios	47
3.4.3 Rocas Intrusivas	49
3.4.4 Geología Estructural	49
3.4.5 Geomorfología	51
3.4.6 Parámetros Geomorfológicos	54
3.4.7 Estaciones de Control Geológico-Estructural	58
3.4.8 Cartografiado Hidrogeológico	66
 CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	 74
4.1 Análisis Morfológico	74
4.2 Análisis del Comportamiento Estructural	76
4.3 Análisis Hidrogeológico	84
4.3.1 Análisis Comparativo de los Parámetros Físicoquímicos	92

	Pág
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
ANEXOS	98

LISTA DE CUADROS

	Pág
<i>Cuadro 2.1</i> Balance Hidrológico	12
<i>Cuadro 2.2</i> Parámetros del Índice de Compacidad	20
<i>Cuadro 2.3</i> Límites de transmisividad	34
<i>Cuadro 2.4</i> Valores del coeficiente de almacenamiento	35
<i>Cuadro 3.1</i> Accesos al área de estudio	40
<i>Cuadro 3.2</i> Materiales y equipos	41
<i>Cuadro 3.3</i> Parámetros geomorfológicos	56
<i>Cuadro 3.4</i> Data Geológico - Estructural de la estación N° 01	59
<i>Cuadro 3.5</i> Data Geológico - Estructural de la estación N° 02	60
<i>Cuadro 3.6</i> Data Geológico - Estructural de la estación N° 03	61
<i>Cuadro 3.7</i> Data Geológico - Estructural de la estación N° 04	62
<i>Cuadro 3.8</i> Data Geológico - Estructural de la estación N° 05	63
<i>Cuadro 3.9</i> Data Geológico - Estructural de la estación N° 06	64
<i>Cuadro 3.10</i> Data Geológico - Estructural de la estación N° 07	65
<i>Cuadro 4.1</i> Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-1	85
<i>Cuadro 4.2</i> Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-2	86
<i>Cuadro 4.3</i> Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-3	87
<i>Cuadro 4.4</i> Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-4	89
<i>Cuadro 4.5</i> Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-5	90
<i>Cuadro 4.6</i> Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-6	92

LISTA DE FIGURAS

	Pág
<i>Figura 2.1</i> Ciclo hidrológico del agua.	11
<i>Figura 2.2</i> Cuenca, subcuenca y microcuenca.	14
<i>Figura 2.3</i> Área de drenaje de una cuenca.	15
<i>Figura 2.4</i> Curva hipsométrica.	23
<i>Figura 2.5</i> Perfil longitudinal de un cauce.	25
<i>Figura 2.6</i> Formaciones geológicas frente al agua.	28
<i>Figura 2.7</i> Acuíferos porosos.	29

<i>Figura 2.8</i>	Acuífero kárstico.	30
<i>Figura 2.9</i>	Acuífero fisurado.	30
<i>Figura 2.10</i>	Tipos de acuíferos.	32
<i>Figura 3.1</i>	Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 01 de la Formación Yumagual.	59
<i>Figura 3.2</i>	Representación de los 2 planos de estratificación y las 2 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 02 de la Formación Inca.	60
<i>Figura 3.3</i>	Representación de las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 03 de la Formación Carhuaz.	61
<i>Figura 3.4</i>	Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 04 de la Formación Yumagual.	62
<i>Figura 3.5</i>	Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 05 de la Formación Yumagual.	63
<i>Figura 3.6</i>	Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 06 de la Formación Chulec.	64
<i>Figura 3.7</i>	Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 07 de la Formación Carhuaz.	65
<i>Figura 3.8</i>	Representación de los planos de estratificación de las 7 estaciones Geológico – Estructurales correspondientes a las Formaciones: Carhuaz, Inca, Chulec y Yumagual, dichos planos están resaltados de color rojo en la presente figura.	66
<i>Figura 4.1</i>	Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Yumagual.	77
<i>Figura 4.2</i>	Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Inca.	78
<i>Figura 4.3</i>	Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Carhuaz.	79

<i>Figura 4.4</i>	Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Yumagual.	80
<i>Figura 4.5</i>	Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Yumagual.	81
<i>Figura 4.6</i>	Tendencia de los planos principales y estructuras principales en la Formación Chulec.	82
<i>Figura 4.7</i>	Tendencia de los planos principales y estructuras principales en la Formación Carhuaz.	83

LISTA DE GRÁFICOS

		Pág
<i>Gráfico 2.1</i>	Polígono de frecuencia de altitudes.	22
<i>Gráfico 3.1</i>	Curva hipsométrica de la subcuenca Río Hualgayoc.	57
<i>Gráfico 3.2</i>	Polígono de frecuencia de altitudes de la subcuenca Río Hualgayoc.	58
<i>Gráfico 4.1</i>	Curva hipsométrica de la subcuenca Río Hualgayoc.	75
<i>Gráfico 4.2</i>	Perfil longitudinal de la subcuenca Río Hualgayoc.	76
<i>Gráfico 4.3</i>	Análisis fisicoquímico de la cantidad de metales en las muestras de agua.	93

LISTA DE FOTOS

		Pág
<i>Foto 3.1</i>	Vegetación presente en la zona.	40
<i>Foto 3.2</i>	Observamos grandes paquetes de caliza gris azuladas con presencia de venillas de calcita.	44
<i>Foto 3.3</i>	Rocas calizas de color marrón crema intercaladas con niveles de lutitas calcáreas expuestas a lo largo de la carretera Hualgayoc – Bambamarca.	46
<i>Foto 3.4</i>	Afloramiento de la Formación Inca en Pampas de Ponce, Tahona Baja.	46
<i>Foto 3.5</i>	Afloramiento de areniscas cuarzosas de color gris rojizo con niveles pequeños de lutitas de color beige en la comunidad de la Tahona Baja.	47

<i>Foto 3.6</i>	Depósito aluvial, el cual presenta cantos heterogéneos de forma estratiforme.	48
<i>Foto 3.7</i>	Depósitos coluviales asociados a masas inestables y están compuestos por fragmentos gruesos y angulares.	48
<i>Foto 3.8</i>	Rocas dacitas del intrusivo Cerro Jesús. a) Roca alterada por fluidos hidrotermales, b) Roca de textura porfirítica con presencia de óxidos.	49
<i>Foto 3.9</i>	Vista del anticlinal ubicado en el Cerro Negritos.	50
<i>Foto 3.10</i>	Falla normal ubicada en la Formación Inca.	51
<i>Foto 3.11</i>	Falla inversa ubicada en el intrusivo diorítico del proyecto Cerro Corona.	51
<i>Foto 3.12</i>	Altiplanicie ubicada al NE del Cerro Jesús.	52
<i>Foto 3.13</i>	Lomadas ubicadas entre el Caserío de Pílancones y Tahona.	52
<i>Foto 3.14</i>	Colina ubicada en el Caserío de Pílancones.	53
<i>Foto 3.15</i>	Escarpa ubicada en la carretera Hualgayoc – Bambamarca.	54
<i>Foto 3.16</i>	Valle en “V” ubicado en el río Hualgayoc, margen izquierdo de la carretera Hualgayoc – Bambamarca.	54

RESUMEN

La presente investigación está dirigida a identificar las litomorfoestructuras y la relación que estas tienen con el comportamiento hidrogeológico en la subcuenca del Río Hualgayoc, ubicada en el distrito de Hualgayoc, Provincia de Bambamarca, departamento de Cajamarca. Las unidades morfogenéticas encontradas se han realizado utilizando el software ArcGis 10.5, y las cuales son: planicies, lomadas, laderas y escarpas, las mismas han sido clasificadas en función al grado de pendiente, predominando en el área de estudio las lomadas.

El comportamiento morfoestructural de los macizos rocosos de las Formaciones Quilquiñan/Mujarrum, Yumagual, Pariatambo, Chulec, Grupo Goyllarisquizga presentes en la zona de investigación, presentan fuerte fracturamiento originado por el fallamiento en algunas zonas de la subcuenca condiciones que favorece la meteorización e infiltración del agua producto de las precipitaciones. Dichas fracturas (diaclasas) han sido analizadas mediante el Software Dips V6. La caracterización hidrogeológica se ha realizado mediante un formato elaborado por el tesista, los mismos que nos dan indicios de potenciales acuíferos, además los resultados obtenidos del análisis de los parámetros tanto físicoquímicos como bacteriológicos, nos muestran resultados como la M-5 la cual presenta los valores más altos con respecto a las 6 muestras analizadas cuyos valores presentes son: Los niveles de hierro en las muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-6, presentan un valor promedio de 0.090 mg/L estando estos dentro de los parámetros establecidos, la muestra M-5 presenta un valor de 0.389 mg/L siendo esta la que presenta mayores niveles de hierro, con respecto al manganeso las muestras M-2 Y M-5 son las que muestran mayores niveles con valores de 0.326 mg/L y 0.482 mg/L respectivamente, siendo las muestras M-1, M-3, M-4, M-6 las que presentan valores similares con un promedio de 0.279 mg/L. Finalmente la cantidad de zinc es variable en todas las muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6, con valores de 0.082 mg/L, 0.185 mg/L, 0.286 mg/L, 0.191 mg/L, 0.658 mg/L, 0.354 mg/L respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Fracturas, acuíferos, caracterización, morfoestructural, hidrogeológica, litomorfoestructuras, subcuenca.

ABSTRACT

The present investigation is directed to identify the litomorfostructures and the relation that these have with the hydrogeological behavior in the sub-basin of the Hualgayoc River, located in the district of Hualgayoc department of Cajamarca. The morphogenetic units found were made using the software ArcGis 10.5, which are: plains, hills, slopes and escarpments, they have been classified according to the degree of slope, predominating in the study área the hills.

The morphostructural behavior of the rocky massifs of the Quilquiñan / Mujarrum, Yumagual, Pariatambo, Chulec, Goyllarisquizga Group present in the research area, show strong fracturing caused by the failure in some areas of the sub-basin conditions that favor the weathering and infiltration of the water product of rainfall. These fractures (diaclasses) have been analyzed using the Software Dips V6. The hydrogeological characterization gives us indications of aquifer potentials, in addition the results obtained from the analysis of both physicochemical and bacteriological parameters, show results such as the M-5 which presents the highest values with respect to the 6 samples analyzed whose present values are : The iron levels in samples M-1, M-2, M-3, M-4, M-6, have an average value of 0.090 mg / L, while these are within the established parameters, sample M-5 presents a value of 0.389 mg / L being the one with the highest levels of iron, with respect to manganese the samples M-2 and M-5 show the highest levels with values of 0.326 mg / L and 0.482 mg / L respectively, being the samples M-1, M-3, M-4, M-6 those that present similar values with an average of 0.279 mg / L. Finally, the amount of zinc is variable in all samples M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6, with values of 0.082 mg / L, 0.185 mg / L, 0.286 mg / L, 0.191 mg / L, 0.658 mg / L, 0.354 mg / L respectively.

KEY WORDS: Fractures, aquifers, characterization, morphostructural, hydrogeological, lithomorphstructures, sub-basin.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La zona de investigación presenta una secuencia de rocas Cretácicas constituidas por las Formaciones Cajamarca, Quilquiñan/Mujarrum, Yumagual, Pariatambo, Chulec, Grupo Goyllarisquizga y Depósitos Cuaternarios, así como rocas intrusivas, las cuales han sido disectadas por erosión fluvial y glaciario, encontrándose alteradas, meteorizadas y fracturadas producto del plegamiento que han sufrido a lo largo del tiempo geológico, lo que permite una mayor infiltración del agua meteórica a lo largo de toda subcuenca.

Las características principales de las rocas expuestas en la Subcuenca Hualgayoc, constan de sedimentos Cretácicos, areniscas y lutitas del Aptiano, cubiertas por calizas con lutitas interstratificadas que varían en edad desde el Albiano hasta el Turoniano, intruídas por stocks, sills y diques de edad terciaria. Las rocas intrusivas son principalmente pórfidos granodioríticos o cuarzo-dioríticos y localmente riolitas o dacitas.

Las rocas sedimentarias han sido plegadas y luego dislocadas por fallas de alto ángulo y con desplazamientos con presencia de fracturas. Las rocas ígneas también han sido falladas, cizalladas en las áreas mineralizadas, alterándose por fluidos hidrotermales.

Planteamiento del problema

La zona presenta una secuencia de rocas cretácicas constituidas por las Formaciones Pariatambo y Yumagual, así como rocas terciarias intrusivas, las cuales han sido disectadas por erosión fluvial y glaciario, encontrándose alteradas, meteorizadas y fracturadas producto del plegamiento que han sufrido a lo largo del tiempo geológico, lo que permite una mayor infiltración del agua meteórica.

Los depósitos cuaternarios presentan porosidad primaria y las rocas presentan porosidad secundaria, por lo que los flujos de agua que ingresan a la microcuenca siguen la dirección

de flujo hacia el Río Hualgayoc, influenciando en las cimentaciones de viviendas e infraestructura económica.

Formulación del problema

¿Cuál es el comportamiento de las rocas en relación con el comportamiento hidrogeológico, en la subcuenca del Río Hualgayoc?

Justificación de la investigación

La ciudad de Hualgayoc viene sufriendo afectaciones por la presencia de rocas que permiten el flujo de aguas subterráneas, condiciones que afectan las viviendas e infraestructura económica, dando lugar a impactos negativos tanto sociales como económicos en el entorno del proyecto de investigación.

El análisis litomorfoestructural y comportamiento hidrogeológico permitirá determinar las diferentes variables como: Litología, Geoformas y estructuras que están relacionadas con la dirección de las líneas de flujo que van hacia el Río Hualgayoc y al distrito de Hualgayoc. Las cuales impactan en las viviendas de la ciudad y la infraestructura económica.

Alcances y delimitación de la investigación

- **Alcances:** Es descriptiva, correlacional y explicativa de tipo transversal.
- **Delimitación:** determinar las condiciones Litomorfoestructurales en relación con el comportamiento hidrogeológico en la subcuenca Río Hualgayoc.

Limitaciones

Difícil accesibilidad a la zona de la empresa Goldfields y en algunos casos partes de las comunidades, que se encuentra en los alrededores de la ciudad de Hualgayoc.

Objetivos

General

- Realizar el análisis de las litomorfoestructuras y su relación con el comportamiento hidrogeológico en la subcuenca del Río Hualgayoc.

Específicos

- Cartografiar y describir las unidades litomorfoestructurales.
- Definir las variables hidrológicas y analizar la relación de las litomorfoestructuras con los flujos de agua.
- Determinar el comportamiento hidrogeológico de la subcuenca del Río Hualgayoc.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

Los estudios realizados a nivel local como nacional son estudios realizados por el INGEMET y tesis de pregrado realizadas por alumnos de las diferentes universidades del Perú, así como también estudios realizados por consultores contratados por instituciones públicas y privadas, a continuación, se presentan algunas investigaciones relacionadas con el siguiente proyecto de investigación.

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Lorca (2011). *“Hidrogeología e Hidrogeoquímica de la Cuenca de la Quebrada Paipote, Región de Atacama”*. Tesis de grado (UCHILE). Estudio desarrollado para obtener el título profesional de geólogo. Realiza el estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico, con el objetivo de generar un modelo hidrogeológico conceptual sobre la base del comportamiento hidráulico de las rocas y sedimentos, la calidad química de las aguas y el balance hídrico de la cuenca de la quebrada Paipote. Este estudio forma parte del proyecto “Evaluación Hidrogeológica de la Cuenca del Río Copiapó, con Énfasis en la Cuantificación, Dinámica y Calidad Química de los Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos”, desarrollado por SERNAGEOMIN y financiado por Innova - CORFO.

Hernández (2005). *“Análisis Morfoestructural de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Sabana y Papagayo, estado de Guerrero - México”*. En este trabajo se presentan las principales regularidades del plano morfoestructural de los tercios medio e inferior de las cuencas hidrográficas de los ríos Papagayo y Sabana, en el estado de Guerrero, el cual se formó durante la etapa neotectónica (N - Q) del desarrollo del relieve, en un diseño de bloques positivos y negativos, que han heredado la estructura interna de los diferentes complejos litológicos presentes y de sus deformaciones tectónicas antiguas.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Reyes (1980). Escribió el Boletín N° 31 - Serie A “*Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba*” - INGEMMET, en los cuales se detalla la geología, estructuras y comportamiento morfoestructural, presentándose las cartas geológicas escala 1/100,000 que actualmente son de mucha utilidad en trabajos geológicos dentro de esta área.

2.1.3 Antecedentes Locales

Julcamoro (2011). “*Geología y Metalogenia del Distrito Minero Hualgayoc, Cajamarca - Perú*”, realizó la geología del distrito de Hualgayoc, que está representada básicamente por una secuencia sedimentaria clástica y calcárea del cretáceo inferior, además de un conjunto de estructuras como: fallas, pliegues los cuales facilitaron el ascenso del magma en un régimen extensivo posterior a las fases compresivas.

Rodríguez (2012). “*Evaluación Preliminar de Viviendas con Problemas Estructurales en la Ciudad de Hualgayoc. Distrito de Hualgayoc - Provincia de Hualgayoc*”. Estudio en el cual se realizó una evaluación de las viviendas del Distrito de Hualgayoc que tenían problemas estructurales, así como una evaluación de viviendas según su zonificación por sectores, variables y cuadro de evaluación de la peligrosidad, grado de peligrosidad de cada vivienda, sectorización y Estadísticas de Peligrosidad, en relación con la litología y estructuras geológicas.

García (2014). “*Caracterización Hidrogeológica Mediante Métodos Geofísicos en el Valle puente Hierva Alta, Hualgayoc. Cajamarca - Perú*”. Realizó el estudio hidrogeológico utilizando métodos geofísicos, en base a su contexto geológico e hidrogeológico identificando las características geológicas, geomorfológicas y estructurales de la zona.

2.2 BASES TEÓRICAS

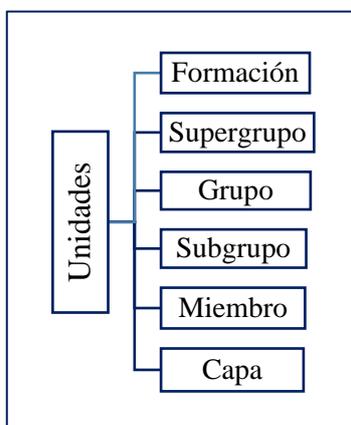
2.2.1 Unidades Litomorfoestructurales

Según Mendivil (1979), la clasificación de unidades lito-morfoestructurales es la organización sistemática de las rocas, considerándolas, dentro de lo posible, en secuencias normales para constituir unidades nombradas en base a su origen, tomando en cuenta su naturaleza y/o manifestación, asociación y variaciones, determinadas por intervalos de espacio que al mismo tiempo registran y se hallan delimitadas por diferentes eventos de la historia geológica. Su objetivo es hacer posible una clasificación estratigráfica de aquellas rocas, que por su naturaleza y afloramientos no permiten un ordenamiento litológico adecuado y los medios de datación son insuficientes o no hay posibilidad de obtenerlos, por lo menos, dentro de un plazo perentorio.

La unidad lito-morfoestructural difiere en distinto grado, según el caso, de las unidades formales de empleo común. En cuanto a la operatividad, para su establecimiento, es de proceso independiente, pero pueden presentarse situaciones de correspondencia con algunas unidades litoestratigráficas o litogénicas, tan solo del punto de vista litológico en el primer caso y además genético en el segundo, a continuación, Mendivil (1979), realiza una subdivisión de las unidades lito-morfoestructurales.

➤ Unidades

Los términos de unidad adoptados en forma decreciente son los siguientes.



Fuente: Clasificación Litomorfoestructural, (Mendivil, 1979).

➤ **Formación**

Es la unidad formal operativa de menor jerarquía del criterio de clasificación lito-morfoestructural y abarca uno o más estratos de igual o diferente origen en secuencia normal, intercalados o interpenetrados, constituyendo un conjunto unitario de estratos adyacentes, con una extensión idónea para su respectivo cartografiado a una escala de 1:25000 o mayores escalas (Mendivil, 1979).

➤ **Supergrupo**

Las unidades de un supergrupo deben tener algo en común, que permita relacionarlas entre sí y las individualice de las unidades contiguas. Representan la unidad lito-morfoestructural formal de mayor rango y sus contactos internos deben ser normales, salvo el caso de unidades alojadas o cuando dichos límites o superficies de separación se deban a discordancias paralelas locales (Mendivil, 1979).

➤ **Grupo**

Es la unidad formal básica, de aplicación cuando se trata de una secuencia estratigráfica clasificada en dos o más formaciones contiguas y asociadas, cuyas características en común sean lo suficientemente significativas como para considerarlas en un conjunto particular con respecto a las unidades adyacentes de igual o mayor rango. Sus límites serán los mismos de las unidades componentes, considerándose el piso de la inferior y el techo de la superior, tomando en cuenta solo los límites o las superficies de estratificación o separación que sean nítidos o demarque dos unidades diferentes (Mendivil, 1979).

➤ **Subgrupo**

Representada por dos o más formaciones que se distinguen de las demás integrantes de un grupo por algo en común con importancia y claridad suficiente como para individualizarlo. Los contactos, tanto internos como externos, son los mismos de las formaciones respectivas. Para establecer un subgrupo es necesario definir previamente el grupo y este podrá ser dividido en uno o más subgrupos en forma íntegra. Si la división es parcial, el resto puede ser una o más formaciones distribuidas indistintamente (Mendivil, 1979).

➤ **Miembro**

Es considerada en la clasificación estratigráfica cuando dentro de una formación, previamente establecida, existe un estrato o conjunto de ellos, que permite individualizarlos por sus características comunes al constituir una porción diferente del resto. Está integrada por rocas de igual o distinto origen, sin tomar en cuenta su forma y extensión, así como también, no es necesario que se le pueda indicar cartográficamente a escala de la formación y puede extenderse de una formación a otra (Mendivil, 1979).

➤ **Capa**

Este término gramaticalmente, puede utilizarse en plural y en singular y se refiere a la unidad más pequeña de la jerarquía. Se emplea en singular cuando está constituida por un estrato unitario diferente litológicamente diferente de los otros estratos adyacentes, cuya caracterización unificante debe estar limitada nítidamente por superficies visibles de estratificación o separación, pudiendo ser dichos contactos normales o anormales a excepción del causado por fallamiento (Mendivil, 1979).

El término en plural se refiere a dos o más capas contiguas de litología idéntica y su conjunto debe sujetarse a los requisitos indicados anteriormente, como si se tratase de una capa.

➤ **Elementos**

Los elementos que geológicamente constituyen las unidades lito-morfoestructurales que sirven o intervienen en su determinación o delimitación en las labores directas de campo son:

Secuencia de unidad

Son los conjuntos estratigráficos continuos a los cuales se les asigna un término litomorfoestructural, sujetándose, en cuanto a su naturaleza y disposición, a los requisitos anteriores indicados para cada caso. Es decir, una secuencia de unidad fundamentalmente debe ser la sección tipo de estratos, pero en la práctica, la mayoría de las veces por las características geológicas intrínsecas, solamente resulta corresponder a las secciones típicas de estratos (Mendivil, 1979).

Secuencia de límite

Son los conjuntos característicos de estratos seleccionados en secuencias litológicas inmediatas a una unidad estratigráfica, sea arriba, abajo o en ambas partes y en lo posible continuas. No es necesario que sea isócronas y debe haber tolerancia en su coetaneidad. La extensión tiene que ser razonable para que, a merced de sus peculiaridades, pueda servir de norma al definir o reconocer un límite estratigráfico aun a distancias considerables (Mendivil, 1979).

Fenómenos geológicos de límite

Son todas aquellas manifestaciones geológicas que por su naturaleza e importancia regional constituyen elementos delimitantes definidos de más o menos fácil reconocimiento, pero que siempre indican contactos conspicuos y es posible identificarlos a nivel regional, dado que la mayoría de ellos deben tener condiciones resolutivas de largo alcance.

Estratos guía

Son los cuerpos litológicos característicos constituidos por uno o más tipos de rocas monogénicas o poligénicas, expuestas en forma manifiesta y de fácil identificación, tratando en lo posible, que sea suficiente la observación directa. El grosor es variable, siendo preferible que sean delgados, pero siempre extensos e indicativos de una determinada posición en una secuencia estratigráfica dada o en la sección columnar estratigráfica regional (Mendivil, 1979).

Medios

En la determinación de cualquiera de los elementos requeridos para establecer una unidad litomorfoestructural es necesario disponer previamente de medios específicos adecuados, productos de acciones convenientes y diligentes haciendo intervenir, en lo posible, todos los factores técnico - científicos aplicables. Debe propenderse a que los resultados sean una contribución, o mejor aún, si es factible

una solución, sin tratar de modificar los trabajos anteriores simple y llanamente por el afán de cambiar (Mendivil, 1979).

➤ **Geomorfología Estructural**

Es el relieve de la superficie terrestre, es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de las grandes elevaciones y depresiones, producidas fundamentalmente por movimientos de componente vertical y, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado (García, 2002).

➤ **Formas Estructurales**

Se comprende por qué desde su aparición en superficie ha actuado de consumo en acción con la acción tectónica, así como la erosión en un grado mayor o menor. Derivan por tanto de las estructuras geológicas; pero siempre manifiestan sus propias características, una estructura plegada, (anticlinal y sinclinal) nunca aparece como tal, sino más o menos destruida, del mismo modo una estructura fallada tampoco se encuentra en su disposición inicial (García, 2002).

➤ **Ensayos de Geomorfología Estructural**

Las formas erosivas proporcionan una descripción cruzada de la destrucción estructural por el juego de la erosión normal. Esta tiene como principal efecto resaltar la estructura, que se considera a una fase de madurez, aquella en la que dominan las formas estructurales, es propiamente la morfología estructural. Por el contrario, la desaparición más o menos total de la estructura y la aparición de formas más seniles sin relación con ella, representan el último término de la evolución morfológica (Cholley, 1950).

2.2.2 Hidrología

➤ **Ciclo Hidrológico**

El ciclo hidrológico se refiere al movimiento y circulación natural que el agua tiene en toda la tierra y su atmósfera. Este movimiento se da por medio de distintos fenómenos que hacen

circular el agua, subiéndola desde el mar hasta la atmósfera y regresándola por las lluvias hacia la tierra y a los mismos océanos. El ciclo no tiene principio ni fin, pero se puede decir que el concepto de ciclo hidrológico se origina en el agua de los océanos. Por ser un ciclo tiene distintas fases (Sánchez, 2004).

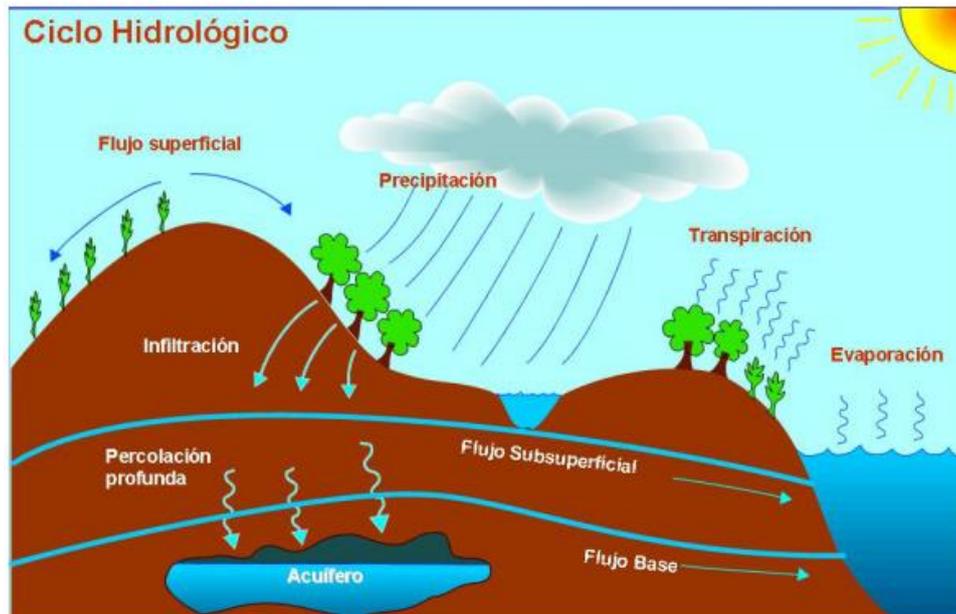


Figura 2.1. Ciclo hidrológico del agua.
Fuente: Sánchez San Román, 2004.

➤ **Balance Hidrológico**

El tema del ciclo del agua conduce a un planteamiento matemático: el balance hidrológico. Si se considera la cuenca de un río (unidad hidrográfica y geomorfológica básica para los estudios de hidrología) y se considera también un periodo de tiempo, es factible estimar el agua que entra y sale en el ciclo a través de dicha superficie y durante ese lapso (Campos, 1992).

En el balance hidrológico se establecen una parte activa y una pasiva. La parte activa comprende al escurrimiento, es decir, a las corrientes que salen durante un periodo considerado, y a la evaporación de la misma cuenca y del mismo periodo. Simultáneamente, en la parte pasiva están dos fuentes fundamentales de entrada: las precipitaciones (lluvia, nieve, etc.) y las precipitaciones ocultas (aquellas que no se miden con pluviómetro, como el rocío, la escarcha, etc.) que en general son de escasa importancia, pero en casos

particulares pueden ser decisivas para el ciclo y balance hidrológicos de algunas regiones (Aparicio, 2001).

Estos son los términos que corresponden a la parte hidrológica - meteorológica, pero hay otras que son de hidrología pura: las aportaciones al periodo siguiente y a las aportaciones del periodo precedente. No toda el agua que escurre superficialmente proviene de la lluvia, sino que puede venir de manantiales suministrados por la reserva subterránea, o bien de las reservas de hielo y nieve en la época de deshielo; y al mismo tiempo, no toda el agua que ha llovido corre por la superficie, sino que una parte queda en el suelo por el proceso de infiltración, para acrecentar la reserva subterránea, o queda en el suelo en forma de nieve y hielo. Así tanto en la parte activa como pasiva habrá términos de infiltración y de depósitos de nieve y hielo.

Cuadro 2.1. Balance hidrológico

Parte activa	Parte pasiva
Escurrimiento---- Q	Precipitación---- P
Evaporación----- E	Precipitaciones ocultas---- C
Aportaciones al periodo siguiente:	Aportaciones del periodo precedente:
Infiltración----- I´	Infiltración----- I
Nieve y Hielo---- N´	Nieve y Hielo---- N

Fuente:http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_tex_uni/G_S_XXI_Principios_de_hidrogeograf%C3%ADa_portada.pdf.

Si se relacionan todos los términos del cuadro, se observa que los de la parte activa corresponden cuantitativamente a los de la parte pasiva, de manera que la suma del escurrimiento (Q) que haya salido de la cuenca en el tiempo considerado, más la evaporación (E), más lo que haya tomado las reservas subterráneas (I´) y lo que queda al final del periodo en forma sólida (N´), debe coincidir con la suma del agua que ha caído por lluvia (P), más la procedente de las precipitaciones ocultas (C), más la suministrada por los manantiales, más la procedente del deshielo.

$$Q + E + (I' + N') = P + C + (I + N)$$

En la ecuación anterior existen términos de diferente importancia. Como se dijo, las precipitaciones ocultas (C) se puede despreciar, aunque en casos particulares pueden ser trascendentes. El término (Q) del escurrimiento tiene un interés extraordinario, porque permite conocer la disponibilidad de agua en una cuenca, durante un periodo determinado. Tanto la precipitación (P) como la evaporación (E) pueden medirse, por lo tanto, pueden conocerse, de modo que si se busca el medio de eliminar los términos de más difícil determinación (I+N) e (I'+N') se llega a la ecuación simplificada.

$$Q + E = P$$

➤ **Cuenca Hidrográfica**

Las cuencas sedimentarias son, en un sentido muy amplio, todas aquellas áreas en las que los sedimentos pueden acumularse con espesores considerables y se conservarán por períodos de tiempo geológico. Las cuencas sedimentarias pueden tener formas diferentes; pueden ser aproximadamente circulares o, más frecuentemente, alargadas, pero a menudo pueden tener límites bastante irregulares. El tamaño de las cuencas sedimentarias es muy variable, por lo general al menos 100 km de largo y decenas de kilómetros de ancho. Existen diferentes tipos de cuencas sedimentarias y se pueden clasificar a manera muy general entre: cuencas sedimentarias activas que siguen acumulando sedimentos; Inactivas y deformadas mostrando más o menos su forma original y la composición sedimentaria; y fuertemente deformada donde el relleno original se ha perdido en parte a la erosión (Einsele, 1992).

➤ **Divisiones de la Cuenca Hidrográfica**

La cuenca puede subdividirse de varias formas, siendo común el uso del término subcuenca para denominar a las unidades de menor jerarquía, drenadas por un tributario del río principal. El término microcuenca se emplea para definir las unidades hidrográficas más

pequeñas dentro de una cuenca principal. Esta subdivisión de las cuencas permite una mejor priorización de las unidades de intervención o tratamiento.

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

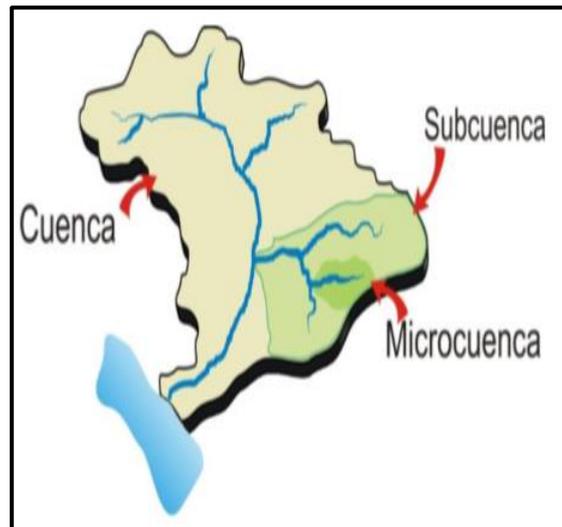


Figura 2.2. Cuenca, subcuenca y microcuenca.
Fuente: Adaptado por Casaverde, 2011.

➤ **Importancia de una Cuenca Hidrográfica**

Las cuencas hidrográficas son algo más que sólo áreas de desagüe en o alrededor de nuestras comunidades. Son necesarias para brindar un hábitat a plantas y animales, y proporcionan agua potable para la gente, sus cultivos, animales e industrias. También nos proporcionan la oportunidad para divertirnos y disfrutar de la naturaleza. La protección de los recursos naturales en nuestras cuencas es esencial para mantener la salud y el bienestar de todos los seres vivos, tanto en el presente como en el futuro (Villegas, 2004).

2.2.3 Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca (PGC)

Las características fisiográficas de la cuenca pueden ser explicadas a partir de ciertos parámetros o constantes que se obtienen del procesamiento de la información cartográfica y

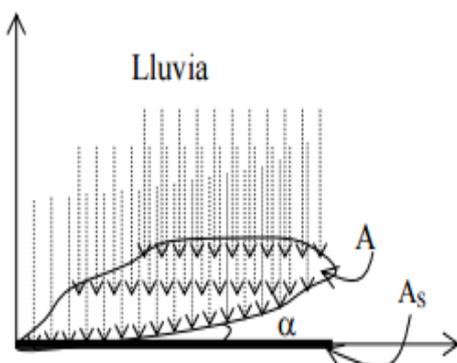
conocimiento de la topografía de la zona de estudio. La cuenca como unidad dinámica natural es un sistema hidrológico en el que se reflejan acciones recíprocas entre parámetros y variables.

Los parámetros permanecen constantes en el tiempo y permiten explicar las características fisiomorfométricas de la cuenca. En general, las variables del sistema hidrológico cambian de tormenta a tormenta, en contraste con los parámetros que permanecen invariables. En hidrología superficial existe una relación muy estrecha entre parámetros y variables, relaciones que son muy bien aprovechadas por el ingeniero para solucionar problemas cuando se carece de información hidrológica en la zona de estudio. Los parámetros más importantes, que permiten definir la fisiografía de la cuenca, son:

➤ **Parámetros Básicos**

a. **Área (A)**

Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escurrimiento dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Frecuentemente se desea analizar una cuenca de gran tamaño y muchas veces es necesario dividirla en subcuencas eso depende del tipo y alcance de proyecto. (Summerfield, 1991).



$$A_s = \frac{A}{\cos \alpha}$$

Donde:

$$A_s \leq A$$

Figura 2.3. Área de drenaje de una cuenca.

Fuente: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1979/becerratoriano.pdf?sequence=1>

α: Ángulo de la pendiente media de la cuenca

A: Área de cuenca en la proyección horizontal

As: Área de cuenca real

b. Perímetro (P)

En cuanto al perímetro de la cuenca (P) informa sucintamente sobre la forma de la cuenca; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor se corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas, el perímetro nos da una idea de la forma de la cuenca (Fattorelli, 2011).

c. Longitud del Cauce Principal (L)

La longitud de la cuenca viene definida por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba. Al igual que la superficie, este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos. (Fernández, 2012).

d. Desnivel Altitudinal (DA)

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja

$$DA = HM - Hm$$

Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura (Fattorelli, 2011).

e. Grado de Ramificaciones

La jerarquización permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal. Hay varios sistemas de jerarquización, siendo los más utilizados el de (Horton, 1945) y el de (Strahler, 1952).

Por el método de Horton los canales van numerados en función del número de afluentes que tengan, de forma que aquel que fluye desde el origen y no tiene ningún afluente es de orden 1, mientras que uno de orden 2 recibe dos afluentes. Si un canal recibe un afluente de orden 1 y otro de orden 2, su orden será 3. El orden de los canales va aumentando de uno en uno, de forma que, aunque un canal recibiera uno de orden 2 y otro de orden 3, su orden sería 4.

Monsalve (1999), clasificó el grado de ramificaciones o bifurcación dentro de la cuenca.

- Corrientes de primer orden: Pequeños canales que no tienen tributarios.
- Corrientes de segundo orden: Cuando dos corrientes de primer orden se unen
- Corrientes de tercer orden: Cuando dos corrientes de segundo orden se unen.
- Corrientes de orden $n + 1$: Cuando dos corrientes de orden n se unen.

➤ **Parámetros Fundamentales**

a. Densidad de Drenaje

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca (Villon, 2002).

Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene:

$$Dd = \frac{\sum Lt}{A}$$

Donde:

$\sum Lt$: Longitud total de corrientes de agua:
suma de causas

A: Área de la cuenca

b. Extensión Media de Esgurrimiento Superficial (ES)

Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre las cuencas para llegar a un cauce, se calcula por la relación que existe entre el área y cuatro veces la longitud de todos los cauces (Pérez, 2012).

$$ES = \frac{A}{4Lt} = \frac{1}{4Dd}$$

ES: Extensión media de escurrimiento superficial

Lt: Largo total de cursos de agua (Km)

A: Superficie de la Subcuenca (Km²)

c. Frecuencia de Ríos

R. E Horton introdujo el concepto de Frecuencia de corrientes, definida como el número segmentos de corrientes por unidad de área.

$$Fr = \frac{\sum_1^k N_U}{A_k}$$

La frecuencia de corrientes tiene por unidades L⁻² y k es el orden del cauce principal (Campos, 1992).

Melton, analizó en detalle la relación de 156 cuencas entre la densidad de drenaje (Dd) y la frecuencia de corrientes y encontró que ambas son medidas de la magnitud de la red de drenaje.

$$F = 0.694 (Dd)^2$$

La ecuación es dimensionalmente correcta y $\frac{F}{(Dd)^2}$ es un número adimensional que tiende a un valor constante del orden de 0.70 (Campos, 1992).

➤ **Parámetros de Forma**

a. Ancho Promedio de la Subcuenca (W)

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y se designa por la letra W (Villon, 2002).

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

Donde:

W: Ancho de la cuenca

A: Área de la cuenca

L: Longitud de la cuenca

b. Factor de Forma

Es la relación entre el área A de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca.

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

Donde:

A: Área de la cuenca (Km²)

L: Longitud de máximo recorrido (Km)

Si $A > Kc$ la cuenca tendrá formas alargadas. Cuanto más los valores se acercan a 1 las cuencas tienden a ser más circulares y cuanto más alargadas sean las cuencas el índice de Gravelius tiende a ser mayor (Monsalve, 1995).

c. Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius

Designado por Kc e igualmente propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la

cuenca en estudio. K_c se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parte aguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia (Monsalve, 2000).

La ecuación de este coeficiente corresponde a:

$$k_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

$$k_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca (Km)

A: Área promedio de la cuenca (Km²)

Cuadro 2.2. Parámetros del índice de compacidad

Formas de la Cuenca de Acuerdo al Índice de Compacidad		
Clase de Forma	Índice de Compacidad (Kc)	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval-redonda a oval-oblonga
Clase III	1.51 a 1.75	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Mármol, 2008.

➤ **Parámetros de Elevación del Terreno o Relieve de la Subcuenca**

a. Altitud Media de la Subcuenca

La elevación media se puede definir, por su rectángulo de área equivalente al área limitada por la curva hipsométrica y los ejes de coordenadas. Se debe tener en cuenta que la altitud y la elevación media de la cuenca son también importantes por la influencia que ejercen sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por

evaporación y transpiración y consecuentemente, sobre el gasto medio (Monsalve, 1999).

$$H = \frac{\sum(hi \times Si)}{A}$$

Donde:

H: Altitud media de la cuenca

Hi: Altitud media de cada área parcial comprendida entre las curvas de nivel, es tomada con respecto a la desembocadura

Si: Área parcial entre curvas de nivel

A: Superficie total de la Subcuenca (Km²)

b. Método del Índice de Pendiente de la Subcuenca o Pendiente Media de la Subcuenca

Se calcula como media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante; es un índice de la velocidad media de la escorrentía y, por lo tanto, de su poder de arrastre o poder erosivo.

$$J = \frac{\sum Li * E}{A} * 100$$

Donde:

J: Pendiente media de la cuenca

Li: longitud de cada una de las curvas de nivel (Km)

E: Equidistancia de las curvas de nivel (Km)

A: Superficie de la cuenca (Km²)

c. Polígono de Frecuencia de Altitudes

Es la representación de la superficie, en km² o en porcentaje, comprendida entre los niveles, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. De esta forma, con diferentes niveles se puede formar el histograma. Este diagrama de barras puede ser obtenido de los mismos datos de la curva hipsométrica. Realmente contiene la misma información de ésta, pero con una representación diferente, dándonos una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca (Ortiz, 2004).

Las características geométricas del histograma nos permiten descubrir información útil sobre los datos, por ejemplo:

- La localización del centro de los datos.
- El grado de dispersión.
- La sección a la cual se sesga, es decir; cuando no cae simétricamente en ambos lados del pico.
- El grado de agudeza del pico. Cómo se levanta y baja la pendiente.



Gráfico 2.1. Polígono de frecuencia de altitudes

Fuente:https://www.google.com.pe/search?q=poligono+de+frecuencia+de+altitud+es&hl=es419&biw=1366&bih=662&site=webhp&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjsgYOX1fQAhUFQiYKHS_eAtYQ_AUIBigB&dpr=1#imgrc=8jEV7cOtJcEAsM%3A

d. Curva Hipsométrica

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

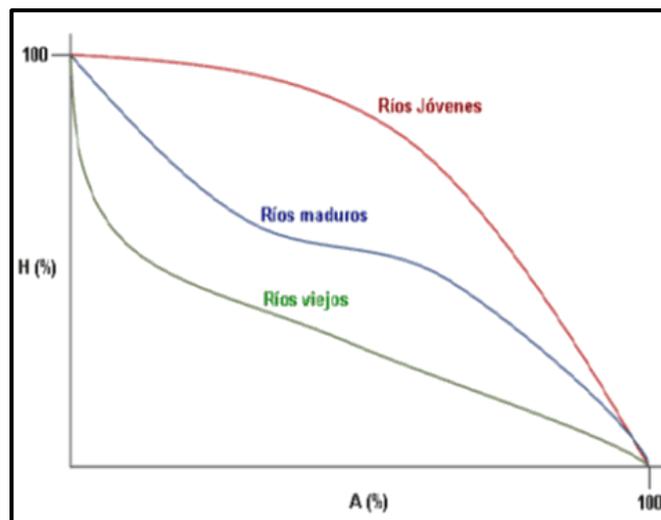


Figura 2.4. Curva hipsométrica
Fuente: Sara, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2000.

➤ **Parámetro del Rectángulo Equivalente**

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca, de su forma heterogénea, en la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro (y por lo tanto el mismo índice de compacidad o índice de Gravelius). En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados, la primera y última curvas de nivel. (Ordoñez, 2011).

Los lados del rectángulo equivalente se determinan a través de fórmulas empíricas, una de las más utilizadas es la que se presenta a continuación:

$$L = \frac{Kc}{1,22} \sqrt{A} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$L = \frac{Kc}{1,22} \sqrt{A} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$$

Donde:

L: Longitud del lado mayor del rectangulo

l: Longitud del lado menor del rectángulo

Kc: Indice de compacidad

A: Area de la cuenca

Debiendose verificarse que:

$$L + l = \frac{P}{2}$$

$$L * l = A$$

➤ **Parámetro Declividad de los Cursos de Agua**

a. Pendiente Media del Rio Principal (Ic)

La pendiente media del cauce principal es igual al cociente entre el desnivel entre los extremos del cauce principal y su longitud en planta (Breña y Jacobo, 2006).

$$Ic = \frac{h}{l} \quad \text{ó} \quad Ic = \frac{DA}{L}$$

Donde:

DA, h: Desnivel altitudinal (Km)

L, l: Longitud del cauce en (Km)

b. Declive Equivalente Constante

Este método asume que el tiempo de traslado del agua varía en toda la extensión del curso del río, con la inversa de la raíz cuadrada de la declividad (Ascurra, 2014).

$$S = \frac{1}{(Tm)^2}$$

$$Tm = \frac{\sum l \cdot t}{L}$$

Donde:

Tm: Tiempo medio de traslado

l: Longitud parcial de un tramo del perfil longitudinal entre dos curvas de nivel

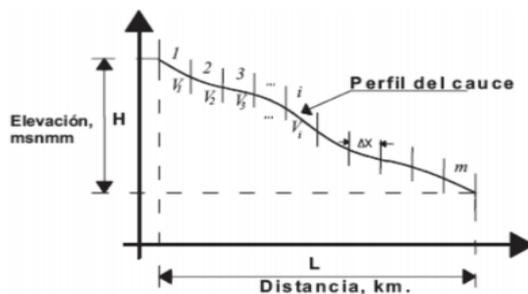
t: Recíproco de la raíz cuadrada de cada una de las declividades parciales del perfil longitudinal

L: Longitud más larga del río

c. Perfil Longitudinal de la Subcuenca (Seq)

Taylor y Schwarz proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme, que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión.

Estos autores llegan a la conclusión de que en el caso de que los tramos no sean iguales la pendiente se encuentra dada por la siguiente expresión, la expresión matemática es:



$$S_{EQ} = \left[\frac{L}{\frac{1}{\sqrt{S_1}}} \right]^2$$

Donde:

L: Longitud del río en un tramo

S₁: Pendiente en el tramo

Figura 2.5. Perfil longitudinal de un cauce

Fuente: Clases de hidrología general. CATIE, 2009.

➤ **Parámetro del Coeficiente de Torrencialidad**

Índice que mide el grado de torrencialidad de la cuenca, por medio de la relación del número de cauces de orden uno con respecto al área total de la misma. A mayor magnitud, mayor grado de torrencialidad presenta una cuenca. (Campos, 1992).

$$C_t = \frac{\sum \text{Cauces de orden 1}}{\text{Área de la cuenca}}$$

La descripción de las características morfométricas, fisiográficas, hidrológicas e hidráulicas entre otros, permite un mejor entendimiento del comportamiento del flujo de agua en la cuenca.

➤ **Parámetro del Coeficiente de Masividad**

Es el cociente entre la altura media sobre su superficie proyectada, utilizando la siguiente formula (Mármol, 2008).

$$C_m = \frac{H}{M} = \frac{OM}{OA} = tg\alpha$$

Donde:

Cm: Coeficiente de Masividad

H: Altura media de la subcuenca

A: Área total de la subcuenca

2.2.4 Hidrogeología

La hidrogeología o geohidrología, es la rama de la hidrología que trata del agua subterránea, su yacimiento y movimiento, sus recargas y descargas, de las propiedades de las rocas que influyen en su ocurrencia y almacenamiento, así como en los métodos empleados para la investigación, utilización y conservación del mismo (Martínez, 2006).

Otra definición de hidrogeología dice que es la ciencia que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en las zonas saturada y no saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre (Musy, André, 2001).

➤ **Clasificación Hidrogeológica de las Formaciones Rocosas**

- a) **Acuífero:** Se denomina acuífero a aquellas formaciones geológicas que almacenan y liberan agua, con la particularidad, del carácter móvil y renovable de las aguas que llegan y saturan al medio permeable, permitiendo que el hombre pueda extraerla y aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para sus necesidades (González, 2004).

- b) **Acuitardos:** Capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad; Se suelen denominar con frecuencia formaciones semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas, etc.), y su capacidad de drenaje es media a baja; no son de interés para la obtención de caudales que puedan servir a alguna necesidad hídrica, pero en la naturaleza juegan un papel muy importante como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies (González, 2004).

- c) **Acuicludos:** pueden almacenar el agua en grandes cantidades, pero no tienen la posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad; el agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos, etc.), en hidrogeología clásica, se asume como impermeables, pero en ingeniería geológica este concepto se hace menos preciso, pues drenajes muy limitados pueden presentar problemas en determinadas obras (Hiscock, 2005).

- d) **Acuifugos:** formaciones incapaces de almacenar y transmitir el agua a través de ellas; están representados por rocas compactas, como granitos y gneis, a veces incluso calizas muy compactas sin carstificar; se muestran como impermeables salvo que existan fracturas que puedan permitir flujos de agua (Gil Montes, 2005).

	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
ACUIFUGOS	ALTA	NULA	NULA	Granitos, gneis, mármoles

Figura 2.6. Formaciones geológicas frente al agua.
Fuente: Ingeniería Geológica, González de vallejo, 2004.

➤ **Tipos de Acuíferos**

a) **Según las Características Litológicas**

❖ **Acuíferos Detríticos**

Coinciden en parte con áreas de sedimentación terciaria. Corresponden mayoritariamente a afloramientos de materiales predominantemente arcillosos de muy baja permeabilidad. Pero también contienen grandes acumulaciones de materiales detríticos, arenas y gravas fundamentalmente, con altos valores de permeabilidad y porosidad, por lo que resultan idóneos para la retención y la circulación del agua subterránea.

❖ **Acuíferos Carbonatados**

Desde el punto de vista hidrogeológico, las rocas carbonatadas suelen ser muy dinámicas. Con el tiempo, los procesos diagenéticos tienden a reducir su porosidad primaria. En la masa de la roca se van produciendo disoluciones graduales y recristalizaciones de los minerales carbonatados. Al mismo tiempo, a nivel de las fracturas, la circulación de agua tiende a disolver los minerales de las paredes, “erosionándolas” y formando cursos subterráneos, cuya dimensión se va incrementando. Dado que estos procesos pueden suceder simultáneamente, algunos acuíferos carbonatados tienen una porosidad primaria relativamente alta, todavía no

completamente afectada por procesos diagenéticos, y una porosidad secundaria en desarrollo, en las fisuras.

b) Según el Tipo de Porosidad

❖ Acuíferos Porosos

Cuando están constituidos por materiales sueltos: arenas, gravas, etc., encontrándose el agua en el espacio intragranular que queda entre partículas. Las características del acuífero están determinadas principalmente por la textura (granulometría) de los materiales y el tipo y cantidad de arcillas que contienen, en especial la presencia de arcillas expansibles como las montmorillonitas pueden modificar notablemente las características de transmisividad hidráulica de la porción superior de la zona no saturada y del suelo al formarse grietas de desecación en épocas de fuerte estiaje.

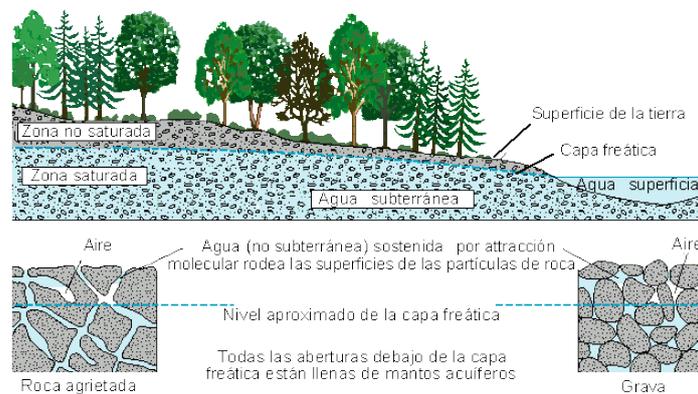


Figura 2.7. Acuíferos porosos.

Fuente: <http://water.usgs.gov/gotita/earthgwaquifer.html>

❖ Acuíferos Kársticos

Cualquier formación geológica caracterizada por tener una porosidad secundaria, afectada por una intensa disolución. Característica de rocas sedimentarias consolidadas cuyos poros y fisuras han sido ensanchados por la acción disolvente del agua, en rocas calizas (Custodio & Llamas, 2001).

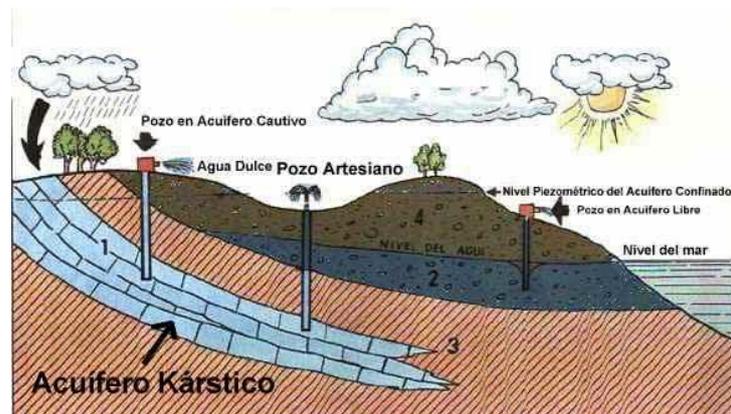


Figura 2.8. Acuífero kárstico.

Fuente: <https://sites.google.com/site/richar2589/home/acuíferos>

❖ Acuíferos Fisurados

Este tipo de acuíferos se forman en formaciones constituidos por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias consolidadas. El agua se almacena en las grietas, diaclasas de la roca, solamente en zonas de falla o cuando han tenido un fracturamiento intenso (Custodio & Llamas, 2001).

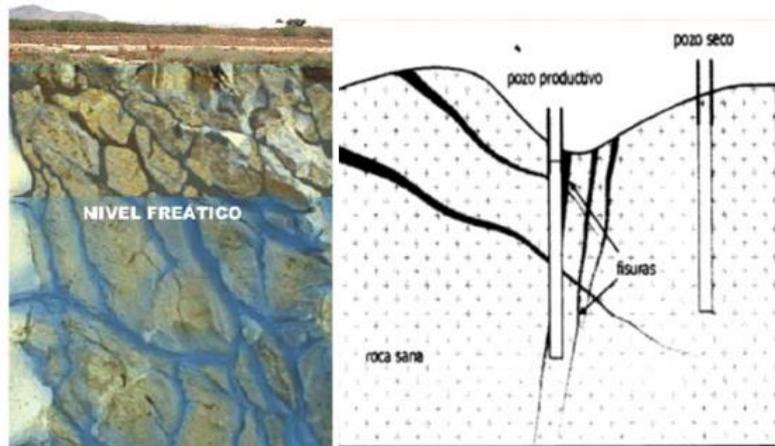


Figura 2.9. Acuífero fisurado.

Fuente: http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libro_aguas_sub/PAGINAS_HTML_FINAL_ESPANOL/pagina19/pagina19.html

c) **Según la Presión Hidrostática**

❖ **Acuíferos Libres**

Este tipo, también llamado freático o capa freática, tiene como base un acuicludo, pero en su techo no está restringido por una capa impermeable, sino que su límite superior es la superficie freática, donde la presión del agua es igual a la atmosférica. Por encima se encuentra la zona vadosa de modo que un acuífero libre está abierto a la atmósfera y como el agua no llena completamente la unidad geológica, la superficie freática puede subir y bajar libremente, en función de su recarga y descarga. Sin embargo, las variaciones en la presión atmosférica no pueden afectar la posición de dicha superficie, aunque si pueden hacer variar transitoriamente el nivel de agua subterránea en un pozo abierto en este tipo de acuífero.

❖ **Acuíferos Confinados**

Es aquel que se encuentra limitado arriba y abajo por un acuicludo y la unidad geológica que lo contiene está completamente saturada. Dentro del mismo el agua comúnmente está bajo presión, de manera que el nivel de agua en una perforación abierta en el acuífero, el nivel piezométrico se halla por encima del techo del mismo o incluso por encima de la superficie del terreno. En este caso se habla de un pozo surgente.

❖ **Acuíferos Semiconfinados**

Cuando un acuífero se encuentra limitado por acuitardos, sea en su base, techo o ambos, es un acuífero semiconfinado. El agua puede moverse libremente a través de los acuitardos, principalmente hacia arriba o hacia abajo debido a su baja permeabilidad. En una perforación en este tipo de acuífero, el nivel de agua generalmente se encuentra por encima de su techo, pudiendo coincidir con la superficie freática si ambos acuíferos se encuentran en equilibrio.

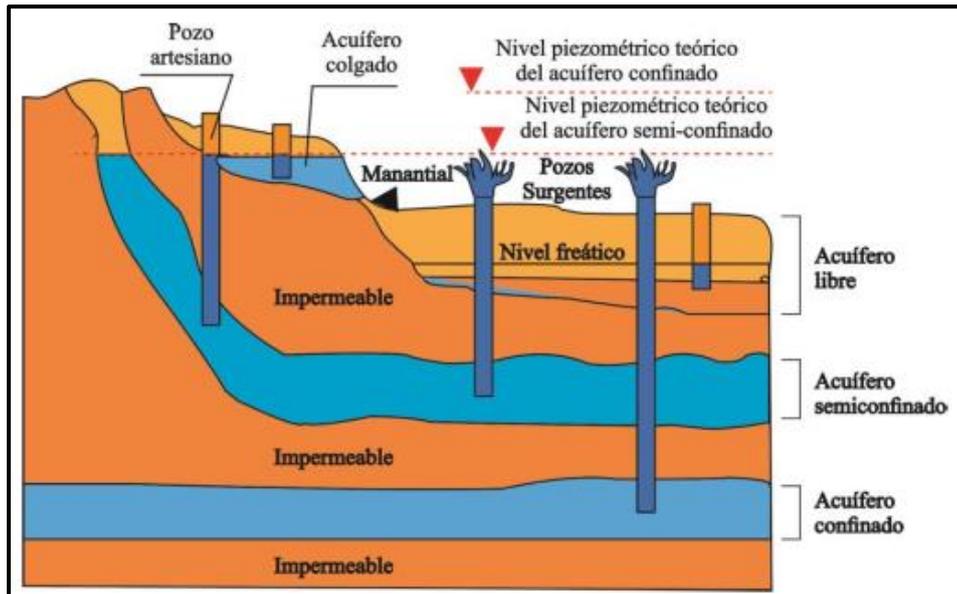


Figura 2.10. Tipos de acuíferos.

Fuente: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-un-acuifero/>

➤ **Parámetros Hidrogeológicos en Formaciones Geológicas**

a) **Porosidad (m)**

La porosidad de una roca o sedimento es una medida de su espacio intersticial. Si se considera que el volumen total V_t de un material es la suma del volumen de su parte sólida V_s y del de sus poros o intersticios V_i , la porosidad puede definirse como la relación entre el volumen de espacios vacíos y el total, o sea pudiendo ser expresada como fracción decimal o como porcentaje.

$$m = \frac{V_i}{V_t}$$

En general una porosidad superior a 0.20 es considerada grande, entre 0.05 y 0.20 mediana y una menor de 0.05 pequeña.

La porosidad de un depósito sedimentario no consolidado depende principalmente de la forma, disposición y grado de selección de sus partículas y sólo en segundo lugar del tamaño de grano. Sedimentos de grano fino suelen presentar una porosidad mayor que los de grano grueso, pero depósitos de grava pueden tener la misma

porosidad que uno de arena. La porosidad es menor en sedimentos mal seleccionados, donde los granos finos rellenan los espacios entre los grandes (Driscoll, 1986).

La porosidad es clasificada en primaria y secundaria según corresponda uno u otro tipo de intersticios. Cuando una roca con porosidad primaria, por ejemplo, una arenisca, es fracturada, constituye un sistema de doble porosidad, ya que coexisten los dos tipos.

b) Coeficiente de Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K)

Se refiere a la capacidad de un material poroso, por ejemplo, un acuífero, de transmitir agua y se define como el volumen de agua que se mueve a través de un medio poroso en la unidad de tiempo bajo la unidad de gradiente hidráulico y a través de la unidad de sección transversal perpendicular a la dirección de flujo. Tiene las dimensiones de longitud/tiempo, por ejemplo, metros/día.

Depende del tamaño y la forma de los intersticios, del grado de su interconexión y de las propiedades físicas del fluido. Si los conductos que comunican los poros son pequeños, el flujo del agua de uno a otro se ve dificultado y la conductividad hidráulica es baja. En un sedimento más o menos grueso y/o bien seleccionado la conexión entre poros es buena y la permeabilidad grande.

Las propiedades físicas del agua varían con la temperatura, y la conductividad hidráulica es definida sobre la base de la viscosidad y densidad a una cierta temperatura, normalmente 20° C.; la compresibilidad del agua es despreciable (Driscoll, 1986).

c) Transmisividad

Es una propiedad vinculada a la anterior e indica la capacidad de un acuífero de transmitir agua a través de todo su espesor y es igual a la conductividad hidráulica multiplicada por el espesor saturado del acuífero. En consecuencia, es el caudal de flujo bajo un gradiente unitario a través de una sección transversal de ancho unitario de todo el espesor acuífero.

Tiene las dimensiones l^2/t , por ejemplo, $m^2/día$.

Un valor puede variar desde menos de $10m^2/día$ a más de $10.000 m^2/día$. Un acuífero con una transmisividad de $10 m^2/día$ o menos, solo puede proveer agua suficiente para pozos domésticos u otros usos de bajo caudal.

Cuando la transmisividad es de $100 m^2/día$ o más, el caudal de los pozos puede ser adecuado para abastecimiento municipal, industrial o irrigación (Driscoll, 1986).

Cuadro 2.3. Límites de transmisividad

T ($m^2/día$)	Calificación estimada
$T < 10$	Muy baja
$10 < T < 100$	Baja
$100 < T < 500$	Media
$500 < T < 1000$	Alta
$T > 1000$	Muy alta

$$T(m^2/día) = 100 q_e = 100 Q(l/seg) / (\Delta s (m))$$

Fuente: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH11.pdf>

d) Coeficiente de Almacenamiento (S)

Es la cantidad de agua liberada por unidad de superficie del acuífero y por unidad de descenso del nivel piezométrico perpendicular a dicha superficie. Como el coeficiente se refiere a un volumen de agua por otro de acuífero, no tiene dimensión (Dueñas, 2008).

En acuíferos confinados los valores típicos se encuentran entre 0.00005 y 0.005, mucho menores que la porosidad eficaz de un acuífero libre. Esto se debe a que en un acuífero confinado el agua no es liberada por el drenaje de los intersticios sino por la compresión del acuífero, en particular de las capas de arcillas y limos intercaladas, (por eso también denominado coeficiente de almacenamiento elástico), y todo el material acuífero permanece saturado.

Cuadro 2.4. Valores del coeficiente de Almacenamiento.

Material acuífero	Funcionamiento del acuífero	Valor de S
Acuífero kárstico Calizas Dolomías	Libre	0,02 - 0,06
	Semiconfinado	$10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$
	Confinado	$10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$
Acuíferos porosos intergranulares Gravas Arenas	Libre	0,05 - 0,15
	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
Acuíferos kársticos y porosos calcarenitas	Libre	0,15 - 0,18

Fuente: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH11.pdf>

$$S = \frac{\text{Volumen de agua liberado}}{\text{Volumen total de agua que ha descendido}}$$

➤ Ley de Darcy

El principio básico que rige el movimiento de agua en el seno del acuífero es la ley de Darcy, que establece que el flujo a través de un medio poroso es proporcional a la pérdida de carga, a la sección considerada y la conductividad hidráulica, según la ecuación (Darcy, 1856).

Establece que el flujo de agua a través de un medio poroso es proporcional a la diferencia de alturas piezométricas e inversamente proporcional a la longitud de la línea de flujo:

$$V = \frac{K \cdot (h_1 - h_2)}{L}$$

Donde:

V = velocidad de flujo “de Darcy”

H₁ = nivel piezométrico en el punto 1

H₂ = nivel piezométrico en el punto 2

L = distancia entre los puntos 1 y 2 a lo largo de la línea de flujo

K = conductividad hidráulica

La velocidad de flujo se llama “de Darcy” porque se supone que el flujo ocurre a través de toda la sección transversal del material poroso, a pesar del hecho de que las partículas sólidas constituyen una gran parte del mismo. La ley proporciona una forma para cuantificar la energía (altura piezométrica) requerida para mover el agua a través de un acuífero; la pérdida de energía (altura piezométrica) es causada por la fricción entre el agua en movimiento y las paredes de los poros.

Por definición el gradiente hidráulico es:

$$I = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

Y así el caudal del flujo a través de una sección A está dado por

$$Q = K \cdot I \cdot A$$

Esta forma de la ley de Darcy es más interesante porque generalmente el caudal de un acuífero es el factor más importante. El flujo total a través de una sección vertical de un acuífero puede entonces calcularse conociendo su espesor total, su ancho, su conductividad hidráulica media y su gradiente hidráulico, siendo este último la pendiente de su superficie freática o piezométrica.

En la aplicación de la ley de Darcy debe tenerse en cuenta su rango de validez. Solamente es válida cuando el flujo es laminar, como ocurre en la mayoría de los acuíferos, pero no en presencia de flujo turbulento, como puede presentarse en basaltos fracturados, calizas cársticas o en las inmediaciones de pozos y vertientes (Darcy, 1856).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Litología: Es la parte de la Geología que trata de las rocas: el tamaño de grano, de las partículas y sus características físicas y químicas. La litología es fundamental para entender cómo es el relieve, ya que dependiendo de la naturaleza de las rocas se comportarán de una manera concreta ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y transporte (Gravusob, 2002).

Estructura: Se refiere a los rasgos morfológicos asociado al proceso de formación de una roca o macizo rocoso, por ejemplo, una colada de lava, un dique, un estrato sedimentario, o al posterior efecto de procesos tectónicos deformativos (plegamientos, diaclasamientos, fallamientos) (Smirnov, 1982).

Geomorfología: Parte de la geografía física que trata de la descripción y explicación del relieve terrestre, estudia los rasgos del relieve y su clasificación, la proporción de rocosidad, los procesos erosivos, origen y formación de montañas, llanuras, valles, la dinámica de los procesos internos de la tierra (Santiago, 2008).

Hidrogeología: Estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado y propiedades; así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación (Navarro, 2002).

Acuífero: Es una capa de agua que almacena y transmite en un estrato rocoso permeable de la litósfera de la Tierra, saturando sus poros o grietas y que puede extraerse en cantidades económicamente aprovechables. Los acuíferos se recargan en general a través de procesos activos de filtración muy lentos y de muy larga duración que ocurren desde la superficie comparada con los procesos de recarga que ocurren en lagos y arroyos (Gil Montes, 2005).

Recarga: Proceso natural o artificial por el cual se produce la entrada de agua a un acuífero. (Fichs, 2009).

Sub Cuenca: Una sub cuenca es toda área en la que su drenaje va directamente al río principal de la cuenca. También se puede definir como una subdivisión de la cuenca. Es decir que en una cuenca puede haber varias sub cuencas (Faustino, 2006).

Surgencia: Salida al exterior de agua subterránea de manera natural debido a que se aplican en el interior de las captaciones verticales (FICHS, 2009).

Ley de Darcy: Ecuación que relaciona el flujo de agua con el gradiente hidráulico, mediante de conductividad hidráulica (FICHS, 2009).

Infiltración: Penetración de agua en el suelo, procedente de la lluvia, cursos superficiales o recarga artificial (FICHS, 2009).

Dips v6: Programa diseñado para el análisis interactivo de información geológica basada en su orientación. El programa es un conjunto de herramientas capaces de múltiples aplicaciones y está diseñado tanto para los principiantes, usuarios ocasionales y experimentados en el uso de la proyección estereográfica, quienes pueden utilizar las herramientas más avanzadas en el análisis de datos geológicos (Rocscience Inc, 2004).

Diaclasa: Fractura o junta que aparece en el cuerpo de una roca ocasionalmente producida por los esfuerzos tectónicos, presentando direcciones definidas a las cuales se les denomina sistemas de diaclasas. Las diaclasas tienen especial importancia en el modelado terrestre dado que facilita la erosión. El diaclasamiento está controlado por la estructura geológica y por las deformaciones tectónicas (Dávila, J. 2011).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Generalidades

3.1.1 Ubicación

La ciudad de Hualgayoc, está ubicada en la parte superior de la cuenca del río Hualgayoc - Arascorgue, cuya dirección de flujo es SW-NE y cuyas aguas discurren en dirección NE hacia la ciudad de Bambamarca. Las principales elevaciones que se tienen son hacia el oeste Cerro Corona 3950 m.s.n.m, al norte Cerro Jesús 3900 m.s.n.m y hacia el SE Cerro José 3850 m.s.n.m.

El área de estudio se ubica en el distrito minero de Hualgayoc donde destacan los principales proyectos como son: Minera Gold Fields, minera San Nicolás y Colquirrumi, etc. Ubicada a 3850 m.s.n.m. enclavada en la Cordillera Occidental de los Andes, específicamente en:

- Departamento : Cajamarca.
- Provincia : Bambamarca.
- Distrito : Hualgayoc.

3.1.2 Accesibilidad

La vía principal que une Cajamarca con la ciudad de Hualgayoc tiene aproximadamente 90 km, actualmente esta carretera esta asfaltada salvo tramos pequeños que aún están enripiados, los cuales muestran un mal estado en épocas de lluvia. Teniendo otra vía alterna como es la carretera Chota - Bambamarca - Hualgayoc, la cual está completamente asfaltada.

Cuadro 3.1. Accesos al área de estudio.

RUTA	DISTANCIA (km)	TIEMPO (h)	TIPO DE VÍA
Cajamarca - Hualgayoc	90 km	2 horas	Carretera asfaltada
Hualgayoc-zona de estudio	300 m	10 min	Caminos de herradura

3.1.3 Clima y Vegetación

El clima del distrito de Hualgayoc es semejante al de cualquier otra parte de los Andes Peruanos, con una estación seca de abril a septiembre y la estación húmeda de octubre a marzo. Durante la estación seca, en altitudes mayores de 3500 m.s.n.m, los días son templados pero la temperatura de muchas noches baja al punto de congelación o bajo cero. Las temperaturas diurnas son raramente superiores a 21 °C. Durante la estación húmeda, los días son más frescos y las noches frías. Bajo los 3500 m.s.n.m, la temperatura va aumentando progresivamente.

Los cerros alrededor de la ciudad de Hualgayoc están cubiertos por distintas clases de pastos de los cuales el más común es el ichu. Algunas laderas y valles muestran arbustos bajos o arboles pequeños, tales como el quinual. Las plantas cultivadas son pocas y pequeños, el eucalipto se usa como material de construcción y leña.

En altitudes menores a la de la ciudad de Hualgayoc, la vegetación se va poniendo progresivamente más exuberante. En el cañón del Rio Hualgayoc y en las laderas de la mina Los Negros, crece una gran variedad de arbustos y árboles pequeños como: sauco, tayanco, chilca, suro, etc.



Foto 3.1. Vegetación presente en la zona.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Materiales y Equipos

3.2.2 Descripción y Tipo de Instrumento de Investigación

Se presentan los materiales utilizados para la etapa de campo como para la de gabinete.

Cuadro 3.2. Materiales y equipos.

Materiales para Campo	Gabinete y Laboratorio
<ul style="list-style-type: none">▪ Tablero▪ Libreta de Campo▪ Colores, lápiz y borrador▪ GPS (Garmin)▪ Picota▪ Protactor▪ Cámara fotográfica▪ Lupa de 10X y 20X▪ Wincha (50 m)▪ Ácido clorhídrico (HCL)▪ Plumón indeleble.	<ul style="list-style-type: none">▪ Laptop ASUS▪ Microsoft Word 2016▪ Microsoft Excel 2016▪ Arc GIS 10.5▪ Google Earth pro▪ SASPlanet 2016▪ Internet Explorer▪ Impresora▪ Plotter HP▪ Papel Bond

3.3 Metodología de la Investigación

3.3.1 Etapa Preliminar de Gabinete

Se realizó la recopilación y revisión de la información bibliográfica disponible sobre el proyecto (libros, informes y trabajos anteriores).

3.3.2 Trabajo de Campo

Comprendió en la obtención de datos en campo, que a su vez se dividió en dos etapas; en la primera etapa, se realizó la ubicación, delimitación y reconocimiento fisiográfico, litológico, geomorfológico y estructural del área de trabajo, donde se hizo el cartografiado con ayuda de los siguientes planos e imágenes satelitales:

- ❖ **Imágenes Satelitales:** Consta de imágenes Landsat banda 4, así como imágenes del Google Earth Pro y SAS Planet 2016, las cuales sirvieron para reconocer las formaciones geológicas en la zona, y además para la localización de estructuras geológicas.
- ❖ **Carta Geológica del Ingemet (14-f),** correspondiente al cuadrángulo de Chota (14-f), la cual sirvió para analizar las formaciones geológicas de la zona de investigación con lo cual se logró definir en campo y tener una buena interpretación y análisis geoestructural.
- ❖ **Modelo Digital de Elevaciones (MDE)** a escala 1:10,000, sobre el cual se realizó el cartografiado geoestructural, y se plasmó los drenajes y zonas de acceso. La segunda etapa consistió en la identificación, y toma de muestras de las diferentes litologías en la zona de estudio. Luego se hizo el trabajo de gabinete que consistió en el análisis y clasificación de la litología identificada.

3.3.3 Trabajo de Gabinete

Habiéndose descrito y clasificado la litología en campo se procedió al procesamiento e interpretación de la data obtenida en campo, con lo cual se definió los diferentes eventos geológicos en la zona.

Con el MDE se generó los planos: geológico, estructural, pendientes, unidades morfogenéticas, hidrogeológico, secciones geoestructurales, utilizando el software SIG.

- ❖ **Microsoft Office 2016:** Paquete de programas informáticos para oficina. Aplicaciones que permitieron automatizar y perfeccionar la elaboración de la tesis (Microsoft Word 2016, Microsoft Excel 2016, Microsoft Power Point 2016).
- ❖ **ArcGIS 10.5:** Herramienta de geoprocésamiento que permite la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica, utilizado para la elaboración de mapas temáticos.

- ❖ **AutoCAD 2016:** Se utilizó para la elaboración de los perfiles geológicos y topográficos que sirvieron como base para el cartografiado de la zona.
- ❖ **Dips v6:** Utilizado para el análisis estructural de datos de campo, determinando las principales tendencias de las estructuras como, fallas, fracturas y pliegues.
- ❖ **Rockdata v4:** Se utilizó para determinar los parámetros geomecánicos, los cuales determinaron las envolventes de resistencia lineal o no lineal para rocas basados en el análisis de los datos de campo, utilizando los dos modelos de resistencia más conocidos en ingeniería geotécnica, que son: el método Generalizado de Hoek-Brown y el de Mohr-Coulomb.

3.3.4 Tipo de Investigación

La presente investigación es descriptiva-explicativa; es descriptiva porque pretende explicar cómo es la realidad (características litológicas, geomorfológicas y estructurales). Es explicativa porque responde a la pregunta por qué y cómo se relacionan las características litológicas, geomorfológicas y estructurales, y en la explicación se da a conocer las razones, las causas de ¿por qué se da esta relación?

3.3.5 Método de Investigación

Método cuantitativo: Usa la recolección de datos para probar la hipótesis, y así establecer patrones y probar teorías.

3.4 GEOLOGÍA LOCAL

3.4.1 Estratigrafía

Las rocas sedimentarias de la parte S del departamento de Cajamarca, son principalmente cretácicas y abarcan edades desde el Valanginiano hasta el Campaniano. El cretácico en Hualgayoc y alrededores es de 5000 m; en muchas localidades las rocas del Cretáceo Inferior cubren concordantemente a las rocas Jurásicas, y en otras localidades están cubiertas por una secuencia de capas rojas conglomeráticas del Cretáceo Superior y Terciario. La parte inferior

del Cretáceo, está caracterizada por material clástico, areniscas y lutitas con cantidades menores de calizas intercaladas.

Las rocas Cretácicas superyacentes son principalmente calizas con cantidades variadas de lutitas intercaladas del Cretáceo (Campaniano), luego de la transgresión marina a inicios del Aptiano se dio la depositación de sedimentos calcáreos de cuencas someras y profundas representadas por las formaciones: Grupo Goyllarisquizga, Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual.

Formación Yumagual (ks – yu)

La mayor exposición de esta formación se da hacia la zona sur del distrito, en la carretera del paso Coymolache. En la zona se pudo observar calizas puras, calizas nodulares grises azuladas intercaladas con margas, así mismo la presencia de venillas de calcita debido a la cercanía con un cuerpo caliente que vuelve en disolución a las calizas formándolas y distribuyéndolas irregularmente, dichas calizas se pudieron notar con una potencia que oscila entre 400 - 500 m.

Además, se pudo observar claramente la estratificación y la presencia de bancos muy potentes y margas distribuidas irregularmente en menor cantidad.

Los fósiles presentes en esta formación son: tenemos como fósil guía al *Oxytropidoceras Carbonarium* en las partes basales de esta formación (Benavides, 1956).

Paleontológicamente esta Formación se encuentra entre el Neo-Albiano y parte temprana del Cenomaniano, perteneciente al Cretáceo Inferior y Cretáceo Superior respectivamente. Infrayaciendo en el techo a la Formación Yumagual.



Foto 3.2: Observamos grandes paquetes de calizas gris azuladas con presencia de venillas de Calcita.

Formación Pariatambo (ki – pa)

Esta formación aflora en las partes más altas del distrito de Hualgayoc, la misma que se puede observar a lo largo del anticlinal de Los Negritos. Tiene aproximadamente entre 200 – 300 m de espesor.

Presenta niveles delgados a medios de calizas bituminosas de color gris oscuro, intercalado con niveles delgados de lutitas negras, su estratificación es rítmica y en general las capas más masivas están intemperizadas en un color gris claro, mientras que las interestratificaciones de lutitas y calizas arcillosas, que son de color gris a negro, afloran en pequeños estratos debido a que se desintegran con facilidad formando suelos los cuales están cubiertos por vegetación. Las mismas que son más resistentes que las calizas de la formación Chúlec.

Los fósiles presentes en esta formación son: *Oxytropidoceras*, siendo este el fósil guía de esta formación *Exogyra*, estos son los principales fósiles encontrados en las calizas de esta formación (Brogniart, 1956).

Paleontológicamente esta formación se encuentra en el Albiano superior, perteneciente al Cretáceo Inferior. Infrayaciendo en el techo a la Formación Yumagual.

Formación Chulec (ki – chu)

Su mayor exposición se da a lo largo de la carretera, desde el campamento de Colquirrumi hasta el caserío de Apan Bajo. Esta formación tiene aproximadamente 300-350 m de calizas nodulares y margas de color marrón crema, intercaladas con niveles delgados de lutitas calcáreas, los estratos varían en su potencia desde 20 – 80 cm de grosor. Los sedimentos que componen esta formación son altamente blandos.

Esta formación es fosilífera por excelencia por lo que presenta los siguientes fósiles: *Knemiceras*, los cuales son característicos del Albiano, *Lyelliceras*, es conocido a fines del Albiano inferior, *Neithea*, *Enallaster texanus* (Benavides, 1956).

Paleontológicamente esta formación se encuentra entre el Albiano Medio y el Albiano Inferior, perteneciente al Cretáceo Inferior. Infrayaciendo en el techo a la Formación Pariatambo.

Formación Inca (ki – i)

Las capas de los diferentes tipos de roca, varían desde pocos centímetros hasta varios metros de espesor, el color de estas rocas varía en la superficie, de rojizo a naranja amarillento, en el cañón del río Hualgayoc estas rocas han sido alteradas, en los contactos con el intrusivo dacítico y los diferentes sills presentes en la zona por lo que es difícil diferenciarlas de las rocas ígneas.

La litología de esta formación, consiste en niveles laminares de areniscas, así como también lutitas y limolitas ferruginosas de color pardo oscuro y en la parte basal pequeños niveles de calizas arenosas.

En la región los fósiles reconocidos de la Formación Inca corresponden a amonites (*Parahoplites*), los cuales sirvieron para datar esta secuencia en el Albiano Inferior.



Foto 3.3: Rocas calizas de color marrón crema intercaladas con niveles de lutitas calcáreas expuestas a lo largo de la carretera Hualgayoc – Bambamarca.



Foto 3.4: Afloramiento de la Formación Inca en Pampas de Ponce, Tahona Baja.

Paleontológicamente esta formación se encuentra entre el Albiano superior y el Albiano Inferior, perteneciente al Cretáceo Inferior. Infrayaciendo en el techo a la Formación Chúlec.

Grupo Goyllarisquizga (ki – g)

Estas rocas están expuestas principalmente en el cañón del río Hualgayoc, presentando estratos de areniscas cuarzosas de color gris rojizo intercalados con niveles delgados de lutitas de color beige azulado, lodolitas interestratificadas y niveles pequeños de lutitas calcáreas de color marrón claro. La base de esta secuencia no está expuesta en la superficie.



Foto 3.5: Afloramiento de areniscas cuarzosas de color gris rojizo con niveles pequeños de lutitas de color beige en la comunidad de la Tahona Baja.

En Hualgayoc no se hallaron fósiles en esta formación por lo que no se puede precisar con claridad la edad de estas rocas (Benavides, 1956), sin embargo, sus relaciones estratigráficas son las mismas a las encontradas en las regiones vecinas y los Andes Centrales del Perú, por lo que se le asigna al Neocomiano Inferior - Aptiano. Esta formación infrayace a la formación Inca (Bol.38 INGEMMET).

Paleontológicamente esta formación se ubica en el Neocomiano – Aptiano, esta formación infrayace a la Formación Inca.

3.4.2 Depósitos Cuaternarios

Estos depósitos están presentes en las márgenes del cañón del río Hualgayoc, así como también en las laderas de los cerros José y María presentes en la subcuenca, los cuales los vamos a describir a continuación.

Depósitos Aluviales (Qh – al): Estos materiales han sido transportados y depositados por el río Hualgayoc. Presentan cantos subredondeados los cuales están distribuidos en forma estratiforme (estratificados), es decir con una cierta clasificación granulométrica, esto debido al tamaño de los granos, desde los fragmentos más gruesos hasta los más finos como son: arenas, arcillas y limos de diferentes coloraciones debido a la contaminación de sustancias minerales disueltas por los flujos de agua, así como por la lixiviación de los minerales extraídos en la zona, los mismos que se encuentran en la margen SW de río Hualgayoc.



Foto 3.6: Depósito aluvial, el cual presenta cantos heterogéneos de forma estratiforme.

Depósitos Coluviales: Estos depósitos están asociados a masas inestables y están compuestos principalmente por fragmentos angulares gruesos y heterogéneos, debido al poco transporte que estos han tenido, los mismos que presentan un color negruzco a amarillento, y estos fragmentos están sostenidos por una matriz de composición variable con presencia de arenas, arcillas y limos y distintas cantidades.



Foto 3.7: Depósitos coluviales asociados a masas inestables y están compuestos por fragmentos gruesos y angulares.

3.4.3 Rocas Intrusivas

El intrusivo que se encuentra expuesto en el Cerro Jesús y el Socavón Real, está compuesto básicamente por rocas dacíticas de color blanco, pardo amarillento o gris, las mismas que presentan una textura porfirítica. Toda esta roca ha sido alterada por fluidos hidrotermales, por lo que los minerales ferromagnesianos han sido alterados a sericita o arcilla y la matriz silicificada o sericitizada.

Al microscopio esta roca consiste en un 80 – 85 % de sericita, arcilla y cuarzo secundario y 15 % de fenocristales de cuarzo. Basándonos en el tipo de feldespatos de las rocas más frescas y en comparación con otras rocas intrusivas del distrito, se estima que el intrusivo del Cerro Jesús es un pórfido granodiorítico, llegando en ciertos lugares a monzonita y en otros a latita de cuarzo.

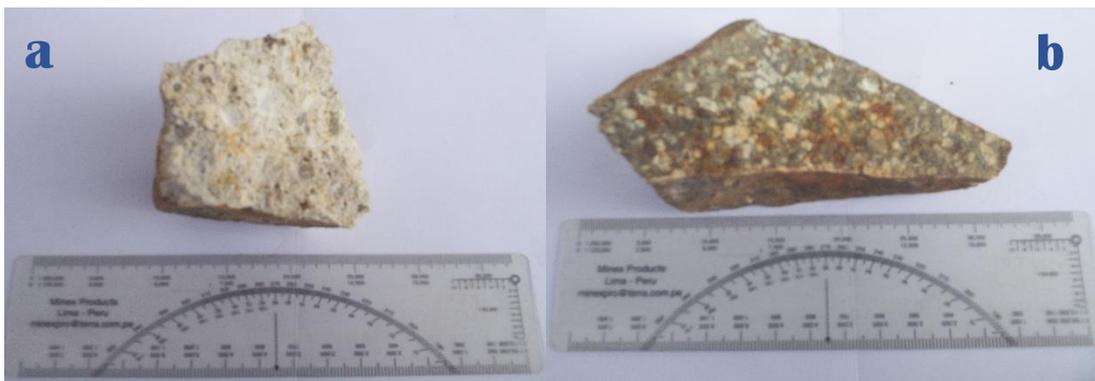


Foto 3.8: Rocas dacitas del intrusivo Cerro Jesús. a) roca alterada por fluidos hidrotermales, b) roca de textura porfirítica con presencia de óxidos.

3.4.4 Geología Estructural

Existen diferentes definiciones en lo que respecta a geología estructural, para Sitter, (1976). Es el análisis de la deformación de los estratos sedimentarios, pero antes de poder estudiar dicha deformación es esencial conocer la secuencia sedimentaria de los estratos en cuestión. Cuando el plegamiento es relativamente suave, el orden de sucesión estratigráfico es fácil de averiguar partiendo de la ley de superposición. Sin embargo, para Billings M, (1974).

Es el estudio de la arquitectura de la Tierra, en tanto es determinada por movimientos terrestres, los cuales causan pliegues, diaclasas, fallas y clivajes. El movimiento del magma, debido a que con frecuencia está íntimamente asociado con el desplazamiento de rocas sólidas, es también un tema que está dentro del dominio de la Geología Estructural.

Según estas definiciones la geología estructural se refiere al estudio y análisis de las deformaciones producto de los movimientos tectónicos generados en el interior de la tierra. A continuación, se describen las principales estructuras presentes en el área de estudio.

➤ *Pliegue*

El pliegue principal que se puede observar en el área mapeada es el anticlinal que está ubicado en el Cerro los Negritos y se lo puede apreciar aflorando nuevamente en el Caserío de Pilancones, el cual es un pliegue asimétrico y monoclinal. El mismo que está formado sobre el Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo Inferior.



Foto 3.9: Vista del anticlinal ubicado en el Cerro Negritos.

Esta estructura presenta un buzamiento de 7° en el flanco SW que va desde la margen izquierda del río Hualgayoc y un buzamiento de 40° en el flanco NE, que va hasta el Caserío de la Tahona Alta.

➤ *Fallas*

Estas estructuras las podemos observar principalmente en las rocas sedimentarias presentes en el área de estudio, así como también algunas estructuras están presentes en el intrusivo diorítico del proyecto cerro corona cuyas direcciones principales son: N73° 65°SW N130° 77° N290° 60° N125° 86° N225° 61°.



Foto 3.10: Falla normal ubicada en la formación Inca.



Foto 3.11: Falla inversa ubicada en el intrusivo diorítico del proyecto Cerro Corona.

➤ *Diaclasas*

Estas discontinuidades menores por lo general presentan espaciamientos de 10 cm a 40 cm, aperturas menores a 1 mm, paredes ligeras a moderadamente rugosas, rellenos de carbonatos y óxidos con espesores generalmente menores de 5 mm, en ciertos casos algo mayores llegando hasta 2 cm, moderadamente intemperizadas, y condiciones de agua subterránea de secas a húmedas.

3.4.5 Geomorfología

Existen diferentes conceptos con respecto a la definición de geomorfología según los autores, para Derruau M. 1966. Es una ciencia que se propone describir las formas y explicar el relieve, su evolución y los procesos de su modelado; y para Viers G. 1973. La Geomorfología es una ciencia de síntesis que tiene por objeto clasificar y explicar las formas del relieve; en cambio Soeters R. 1976. Define a la Geomorfología como la ciencia que trata de la superficie terrestre y sus orígenes.

Según estas definiciones, la geomorfología tiene por objetivo la descripción de las formas del terreno, la explicación de su génesis, es decir de su origen y evolución a través del tiempo geológico, así como la explicación y descripción de los agentes geomorfológicos modeladores de la superficie terrestre.

En ese sentido, el relieve terrestre hace referencia a las formas que tiene la corteza terrestre o litosfera en la superficie, tanto al referirnos a las tierras emergidas, como al relieve submarino, es decir, al fondo del mar. Para clasificar las unidades geomorfológicas vamos a

utilizar la clasificación de Rodríguez Cruzado, R. (2016), quien lo clasifica de la siguiente manera.

a. Planicies

Estas geoformas están presentes en la zona y se encuentran en altitudes aproximadas que van desde 3250 m.s.n.m. hasta 3400 m.s.n.m. Corresponde a zonas cuya superficie presentan ligeras ondulaciones, la mismas que se localizan ocupando algunas partes de la zona de estudio. La pendiente dominante fluctúa entre el rango de 0° a 8° .

Litológicamente está constituida por rocas sedimentarias y volcánicas correspondientes principalmente a las formaciones Yumagual, Pariatambo, Chúlec.

La cobertura vegetal presente es principalmente gramíneas, ichu, así como también se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas, la topografía poco accidentada restringe la ocurrencia de acciones erosivas actuales por lo que no ocurren mayores cambios.



Foto 3.12: Altiplanicie ubicada al NE del Cerro Jesús.

b. Lomadas

Estas geoformas son elevaciones del terreno de similar altura que las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, y cuyas pendientes están entre 8° y 20° . Las mismas que no deben pasar los 150 a 200 m de altura.



Foto 3.13: Lomadas ubicadas entre el Caserío de Pilacones y Tahona.

Sirven temporalmente como terrenos para el pastoreo y muy escasamente es utilizado para el desarrollo de una pequeña agricultura.

Litológicamente se encuentran en las Formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo y Yumagual, presentándose principalmente en la margen derecha de la carretera Hualgayoc – Bambamarca y en las márgenes de la quebrada Mesa de Plata.

c. Laderas

Las colinas presentes en el área mapeada son igualmente elevaciones naturales del terreno, las mismas que presentan un desnivel inferior a 300 m, cuyas laderas se inclinan en promedio con valores están entre los 20° a 50° de pendiente.

Estas geoformas corresponden a zonas que se distribuyen de manera dispersa en casi toda la zona mapeada.

Litológicamente están constituidas por rocas sedimentarias, correspondiente principalmente a las formaciones del Grupo Goyllarisquiza perteneciente al cretáceo inferior; Inca, Chulec, Pariatambo del cretáceo superior; así como en rocas intrusivas como la Dacita presente en el intrusivo del cerro Jesús. La pendiente dominante de estas geoformas fluctúa entre el 20° al 50°.



Foto 3.14: Colina ubicada en el Caserío de Pilancones.

d. Escarpas

Son sectores de topografía muy accidentada conformada por laderas montañosas moderadamente ramificadas estructuralmente plegadas donde aún se conservan rasgos de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas por procesos de denudación (anticlinal).

Litológicamente están constituidas por rocas sedimentarias del cretáceo inferior y superior, así como por rocas ígneas.

La pendiente dominante corresponde al rango mayor al 50°.

En estas zonas difícilmente se puede practicar actividades agropecuarias debido a la pendiente muy pronunciada; allí la erosión actual es claramente visible; el nivel con el que estas formas erosivas afectan al paisaje es más severo que en las formas de relieve de menor pendiente. De otro lado, hay movimientos de masa, como derrumbes, caída de rocas y deslizamientos.



Foto 3.15: Escarpa ubicada en la carretera Hualgayoc-Bambamarca.

e. Valle en V

Los valles con un perfil transversal en forma de V son típicos en los cursos altos de los ríos. Las dos vertientes laterales presentan fuertes pendientes, y el río erosiona verticalmente. En la zona de estudio el valle está formado por el Río Hualgayoc en el Grupo Goyllarisquizga.



Foto 3.16: Valle en “V” ubicado en el río Hualgayoc, margen izquierdo de la carretera Hualgayoc - Bambamarca.

3.4.6 Parámetros geomorfológicos

Una subcuenca hidrográfica actúa como un colector natural, encargada de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento. En esta transformación de lluvias en escurrimiento se producen pérdidas, o mejor desplazamiento de agua fuera de la subcuenca debido a la evaporación y la percolación. Para este tipo de estudio no solamente interesa el volumen total a la salida de la subcuenca, sino también su distribución espacial y temporal,

para lo cual se necesita tener un buen conocimiento de sus características. El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas (Maidment, 1992).

Análisis Morfométrico

En primer lugar, se realizó la delimitación de la subcuenca la cual fue elaborada a través del modelo digital de elevaciones (MDE), y este a partir de curvas de nivel elaboradas por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) a escala 1/100 000, luego se calculó los flujos de dirección que sirve para determinar la dirección en la que el agua fluye dentro de la subcuenca, también se determinó las líneas de drenaje las cuales se refieren a la jerarquización de cauces desde pequeñas quebradas hasta el río principal de la subcuenca, para lo cual se utilizó el software ArcGis 10.5

Luego se determinó los 21 parámetros geomorfológicos para la subcuenca, los cuales se dividen en 5 parámetros básicos y 16 parámetros fundamentales, según la clasificación de Reinaldo R, 2016.

Los 5 parámetros básicos determinados en la subcuenca son: Área, perímetro, longitud del cauce principal, desnivel altitudinal, así como el parámetro de drenaje que se refiere al grado de ramificaciones de la subcuenca.

Finalmente se realizó el cálculo de los 16 parámetros fundamentales para completar el análisis de la subcuenca y son los siguientes: Densidad de drenaje, extensión media de escurrimiento superficial y frecuencia de los ríos que alimentan la subcuenca, los parámetros de forma encontrados son, ancho promedio de la subcuenca, factor de forma, coeficiente de compacidad o índice de Gravelius, los parámetros de elevación del terreno o relieve de la subcuenca encontrados son, altitud media de la subcuenca, método del índice de pendiente de la subcuenca o pendiente media de la subcuenca, polígono de frecuencia de altitudes, curva hipsométrica y el parámetro del rectángulo equivalente y por último se determinó los parámetros de declividad de los cursos de agua que alimentan a la subcuenca y son, pendiente media del río principal, declive equivalente constante, perfil longitudinal de la subcuenca, coeficiente de torrencialidad y coeficiente de masividad.

A continuación, se presenta el cuadro resumen con el resultado de los 21 parámetros geomorfológicos determinados en la subcuenca.

Cuadro 3.3. Parámetros geomorfológicos.

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA RÍO HUALGAYOC					
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	SUBCUENCA RÍO HUALGAYOC			
		COD.	UNIDAD		VALOR
PARÁMETROS BÁSICOS					
1	Área	A	Km ²		53.07
2	Perímetro	P	Km		27.88
3	Longitud del Cauce Principal	L	Km		8.25
4	Desnivel Altitudinal	DA	m.s.n.m		1,312.00
PARÁMETROS FUNDAMENTALES					
Parámetros de Drenaje					
5	Grado de Ramificaciones	Oi			
		1	49		
		2	13		
		3	3		
		4	1		
Número Total de cursos o ríos: NTc				Cantidad	66
	Longitud Total de Ríos: Li		Km		55.03
6	Densidad de Drenaje	Dd		Km/Km ²	1.66
7	Extensión Media de Esguerramiento Superficial	Es		Km	0.15
8	Frecuencia de Ríos	Fr		Ríos/Km ²	2
Parámetros de Forma					
9	Ancho Promedio de la Subcuenca	Ap		Km	4.01
10	Factor de Forma	Ff			0.49
11	Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelius	Kc			1.36
Parámetros de Elevación del Terreno o Relieve de la Subcuenca					
12	Altitud Media de la Subcuenca	Hm		m.s.n.m	3,532.59
13	Método del Índice de Pendiente de la Subcuenca o Pendiente Media de la Subcuenca	Ip			0.527
14	Polígono de Frecuencia de Altitudes				Gráfico

15	Curva Hipsométrica				Gráfico
Parámetro del Rectángulo Equivalente					
16	Parámetro del Rectángulo Equivalente				
		<i>L</i>		Km	10.91
		<i>l</i>		Km	3.03
Parámetro Declividad de los Cursos de Agua					
17	Pendiente Media del Río	<i>Ic</i>		m/Km	0.16
18	Declive Equivalente Constante	<i>S</i>			0.115
19	Perfil Longitudinal de la Subcuenca				Gráfico
Parámetro del Coeficiente de Torrencialidad					
20	Coeficiente de Torrencialidad	<i>Ct</i>		Ríos 1er Ord/Km ²	1.48
Parámetro del Coeficiente de Masividad					
21	Coeficiente de Masividad	<i>Cm</i>		m/Km ²	106.82

La determinación de las características físicas de la subcuenca nos va a permitir conocer como estas características interactúan entre sí para el funcionamiento adecuado, durante el régimen hidrológico. Estas características van a condicionar el comportamiento de la subcuenca durante la recepción y posterior distribución de las precipitaciones a lo largo de la misma. El análisis y cálculo de los parámetros geomorfológicos nos va a permitir identificar algunos valores que puedan tener incidencia en las variaciones de la subcuenca.

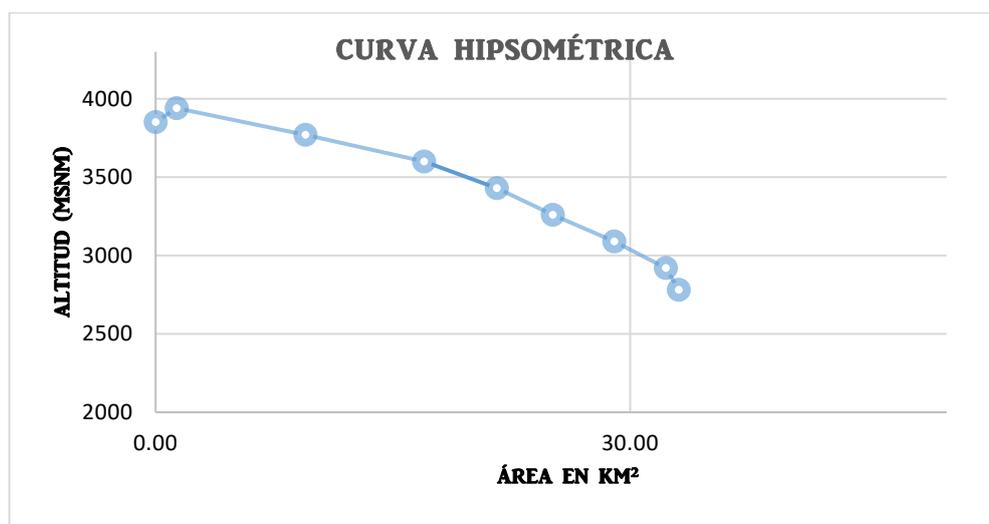


Gráfico 3.1. Curva hipsométrica de la subcuenca Río Hualgayoc.

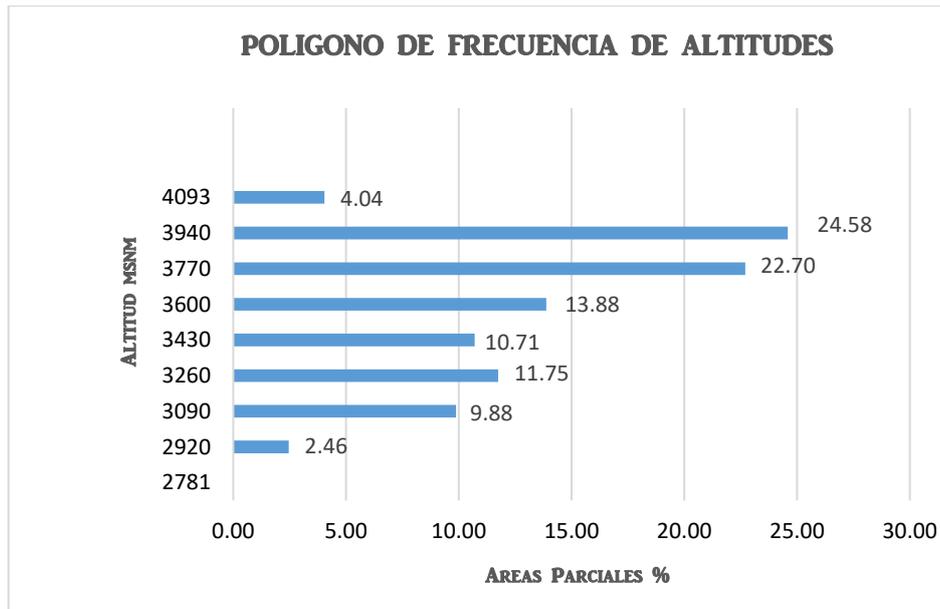


Gráfico 3.2. Polígono de la frecuencia de altitudes de la subcuenca Río Hualgayoc.

3.4.7 Estaciones de Control Geológico - Estructural

La toma de datos de las diferentes estaciones fue realizada entre los meses de agosto – octubre del presente año para lo cual se ha utilizado un formato con datos básicos de las diferentes estaciones, el mismo que ha sido elaborado por el tesista. La información que contiene este formato es: N° de estación, coordenadas UTM Datum WGS 84, tipo de fractura, Dip y Dip Direction y finalmente la formación geológica sobre la cual se ha realizado la toma de datos.

Resultados Geológico - Estructural por Formaciones

Los datos Geológico - Estructurales obtenidos en campo se registraron en los siguientes cuadros: (3.6 - 3.10) Formación Carhuaz, en el cuadro (3.5) Formación Inca, la Formación Chulec en el cuadro (3.9) y finalmente en los cuadros (3.4 - 3.7 - 3.8) la Formación Yumagual, en las cuales se ha priorizado la información como: Litología, Dip (D) y Dip Direction (DD) como la información más relevante para nuestro análisis.

Análisis de Datos Mediante el Software Dips V6.

El Software se utilizó básicamente para graficar la orientación de los estratos y discontinuidades en cada Formación Geológica donde se ha realizado la toma de datos, utilizando como datos principales el Dip (D) y Dip Direction (DD).

Con el registro estructural obtenido de la Formaciones Farrat, Inca, Chulec y Yumagual se logró definir las diferentes orientaciones y comportamiento de cada una de estas. El análisis de las estructuras nos permitió entender el comportamiento geoestructural en la zona de investigación.

Cuadro 3.4. Data Geológico – Estructural de la estación N° 01.

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	
N° 01	762187	9250288	3761	E	29	55	
				D1	65	104	
				D1	72	109	
				D2	81	350	
				D2	79	354	
				D3	23	293	
				D3	15	288	

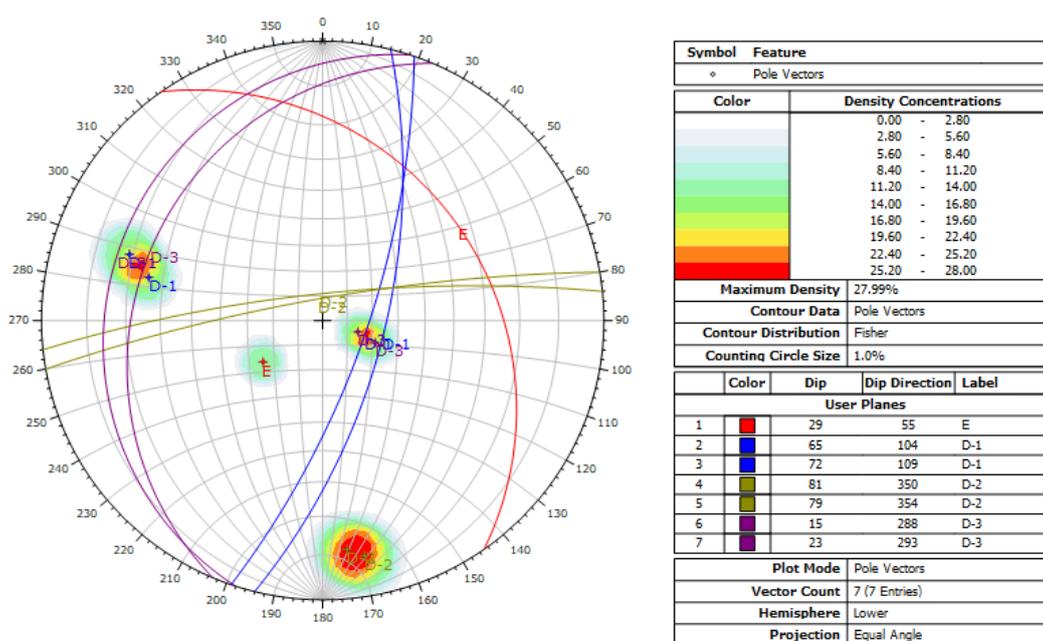


Figura 3.1. Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 01 en la Formación Yumagual.

Cuadro 3.5. Data Geológico – Estructural de la estación N° 02.

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	FORMACIÓN INCA
N° 02	766059	9253704	3376	E	59	229	
				E	57	222	
				D1	88	273	
				D1	71	261	
				D2	62	110	
				D2	64	90	
				D2	77	103	
				D2	71	100	

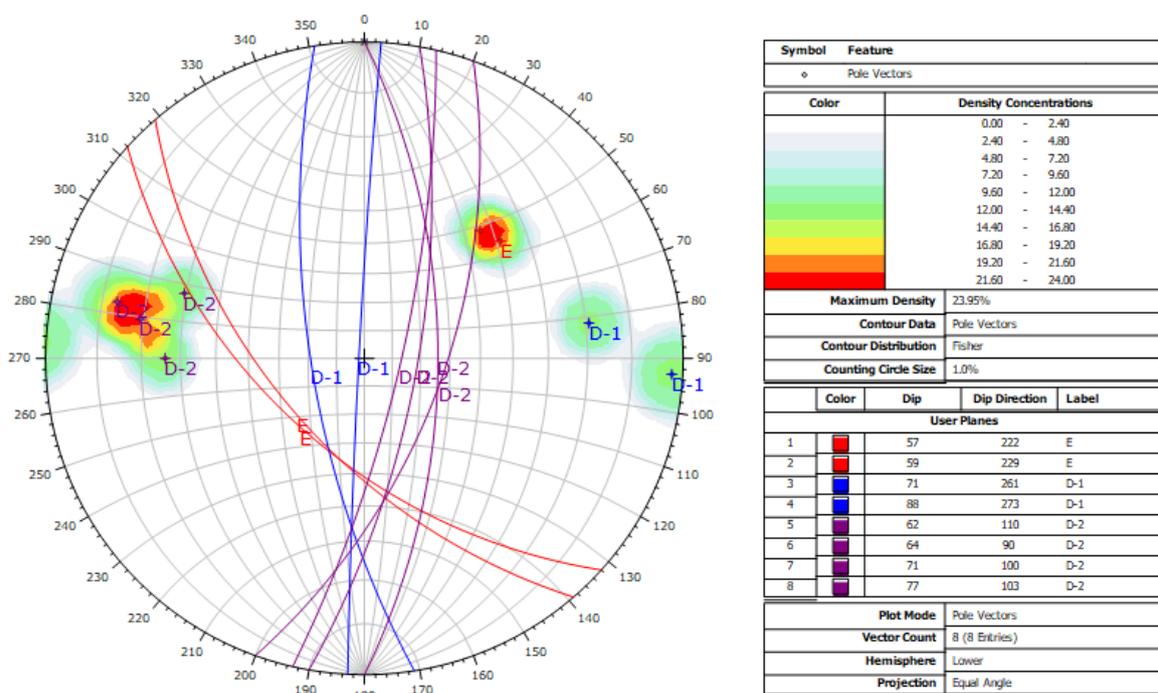


Figura 3.2. Representación de los 2 planos de estratificación y las 2 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 02 de la Formación Inca.

Cuadro 3.6. Data Geológico – Estructural de la estación N° 03.

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	FORMACIÓN CARHUAZ
N° 03	766247	9253377	3412	D1	83	86	
				D1	81	226	
				D1	67	173	
				D2	75	33	
				D2	17	133	
				D3	76	148	
				D3	62	142	

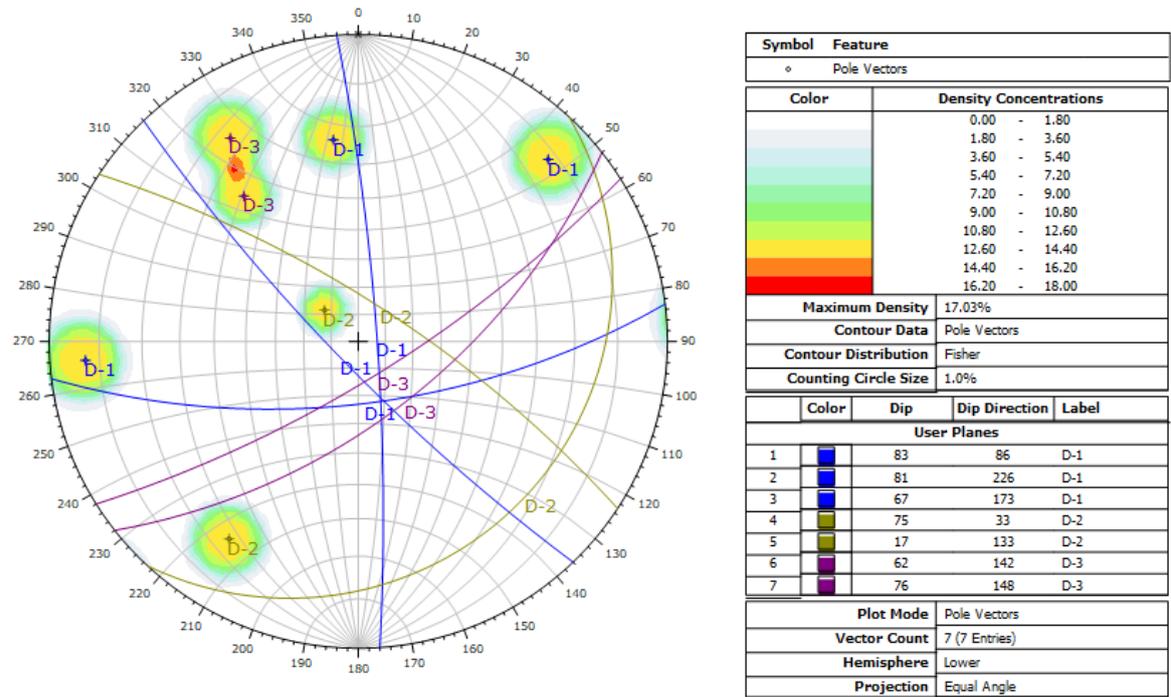


Figura 3.3. Representación de las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 03 de la Formación Carhuaz.

Cuadro 3.7. Data Geológico – Estructural de la estación N° 04.

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	FORMACIÓN YUMAGUAL
N° 04	763813	9250103	3737	E	24	233	
				D1	69	48	
				D1	65	66	
				D1	77	84	
				D1	63	70	
				D1	59	60	
				D2	74	83	
				D2	81	94	
				D2	79	100	
				D2	62	102	
				D2	58	85	
				D2	67	109	
				D3	80	330	
				D3	71	332	
				D3	77	331	
				D3	50	327	

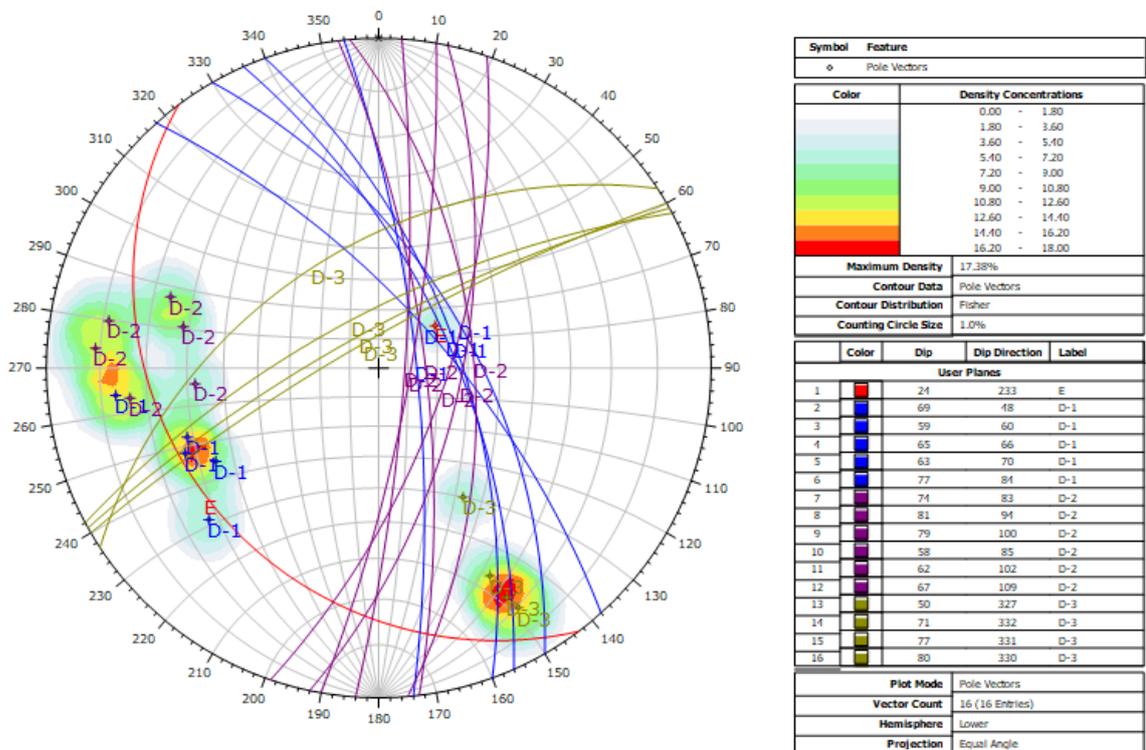


Figura 3.4. Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 04 de la Formación Yumagual.

Cuadro 3.8. Data Geológico – Estructural de la estación N° 05.

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	FORMACIÓN YUMAGUAL
N° 05	763631	9250728	3656	E	64	13	
				D1	71	110	
				D1	74	124	
				D1	35	119	
				D2	31	299	
				D2	47	274	
				D2	77	285	
				D3	42	30	
				D3	48	35	

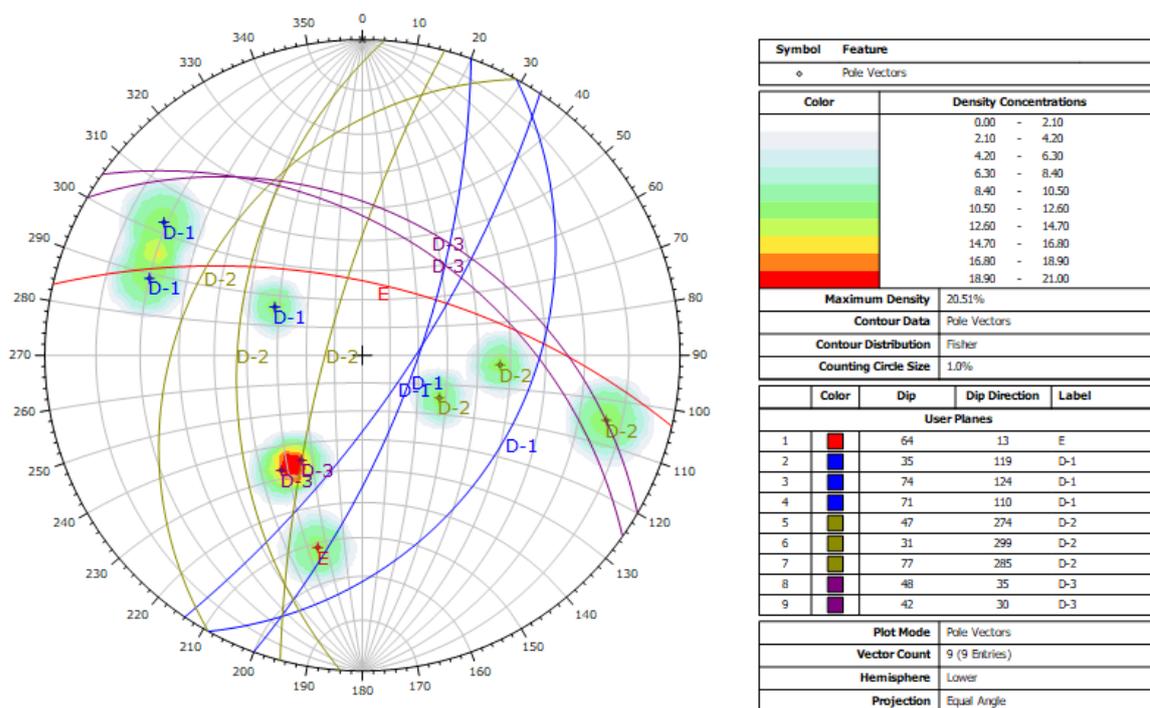


Figura 3.5. Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 05 de la Formación Yumagual.

Cuadro 3.9. Data Geológico – Estructural de la estación N° 06.

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	FORMACIÓN CHULEC
N° 06	766930	9251569	3540	E	67	16	
				D1	72	113	
				D1	75	126	
				D1	30	114	
				D1	73	122	
				D1	45	132	
				D1	64	115	
				D1	69	136	
				D1	83	110	
				D2	36	294	
				D2	37	303	
				D2	43	271	
				D2	79	286	
				D3	39	30	
				D3	46	32	

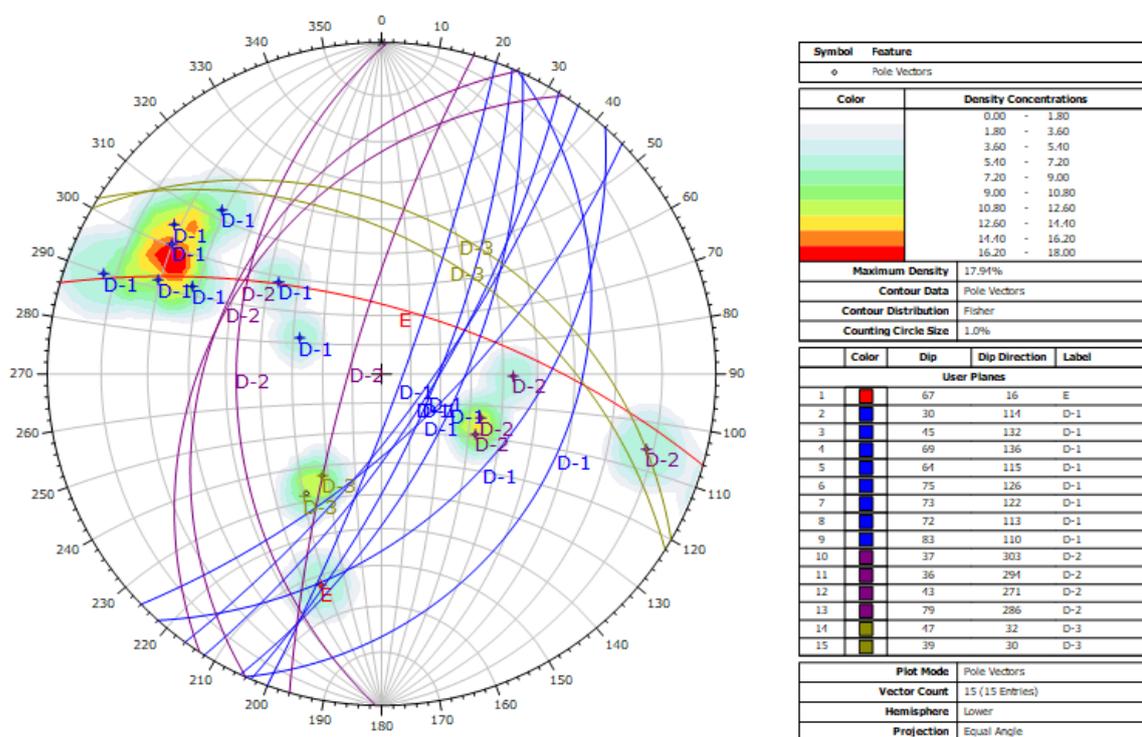


Figura 3.6. Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 06 de la Formación Chulec.

Cuadro 3.10. Data Geológico – Estructural de la estación N° 07.

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	COTA	TIPO	D	DD	FORMACIÓN CARHUAZ
N° 07	766108	9253303	3508	E	9	246	
				D1	67	109	
				D1	68	91	
				D1	69	109	
				D2	84	353	
				D2	77	348	
				D2	81	328	
				D3	22	293	
				D3	18	291	

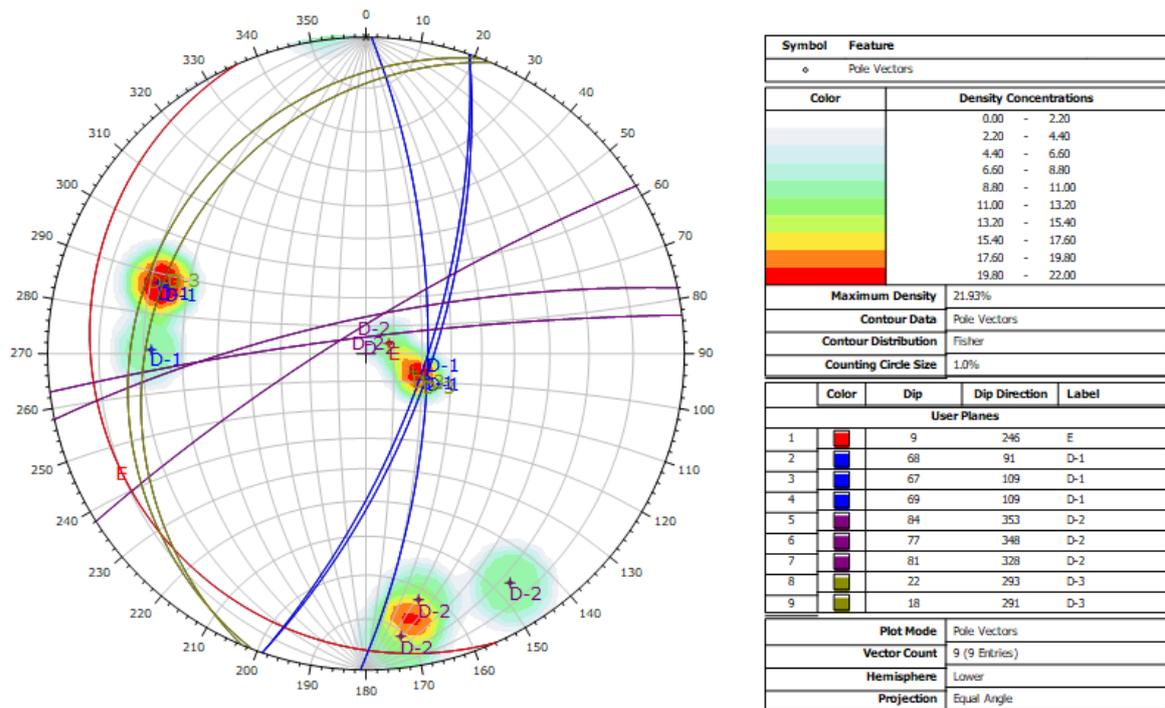


Figura 3.7. Representación del plano de estratificación y las 3 familias de diaclasas tomadas en la estación N° 07 de la Formación Carhuaz.

En la siguiente figura (3.8) se muestra las 71 lecturas que se han realizado en las 7 estaciones geológico-estructurales, correspondiente a las cuatro Formaciones Geológicas presentes en el área de estudio y son las siguientes: Carhuaz, Inca, Chulec y Yumagual, así como también se muestran los planos principales de cada estación en las cuales se han tomado los datos para el análisis correspondiente.

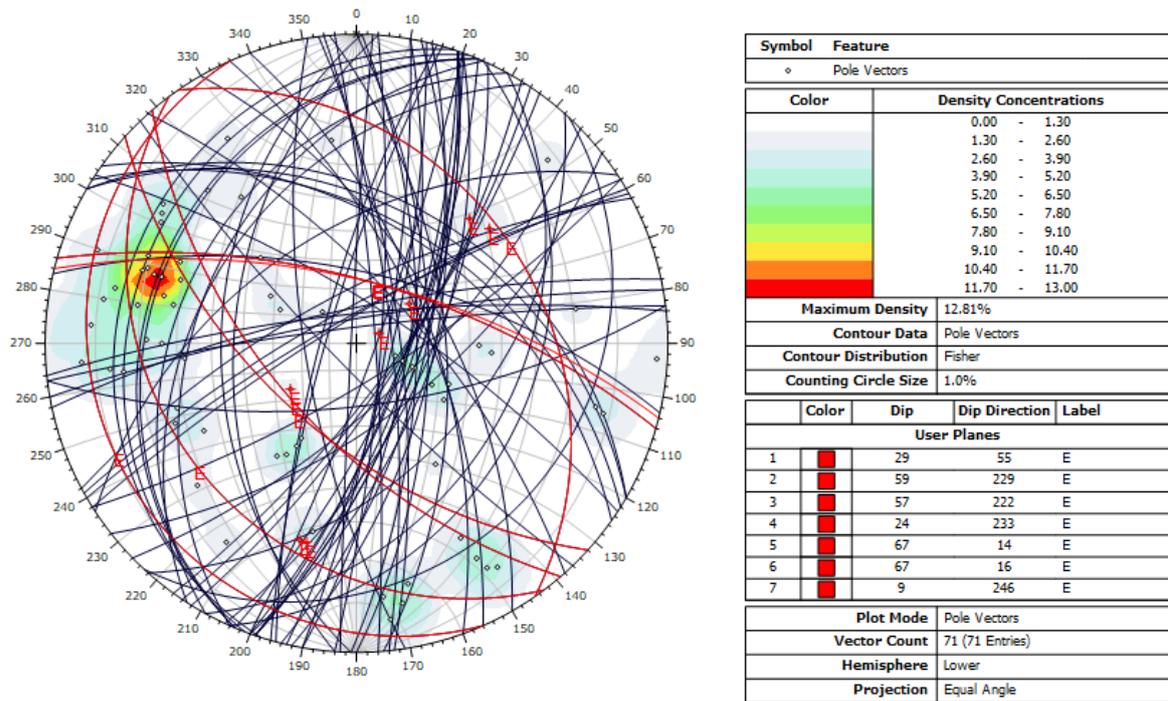


Figura 3.8. Representación de los planos de estratificación de las 7 estaciones Geológico-Estructurales correspondientes a las Formaciones: Carhuaz, Inca, Chulec y Yumagual, dichos planos están resaltados de color rojo en la presente figura.

3.4.8 Cartografiado Hidrogeológico

Una forma de mapear los acuíferos, que es generalmente la más utilizada, es poniendo énfasis en las características hidrogeológicas de las formaciones de superficie. De esa forma, los mapas reflejan principalmente los acuíferos cuyas formaciones continentales se encuentran en o cerca de la superficie, y en menor grado las formaciones acuíferas localizadas a mayor profundidad (Wilhelm y Jean, 1995).

Estas cartas, habitualmente llamadas hidrogeológicas, suministran información acerca de la existencia o no de napas en las formaciones aflorantes, así como sus principales rasgos. En

cierto modo, se trata de cartas geológicas (cartas de formaciones geológicas aflorantes) adaptadas y enriquecidas para la generación de inventarios de recursos hídricos subterráneos.

El cartografiado hidrogeológico se ha realizado con la ayuda del plano geológico, plano estructural y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

Para la elaboración del plano hidrogeológico, los planos antes mencionados nos aportaron la siguiente información:

- a. Configuración de la subcuenca geológica donde se encuentran los manantiales muestreados, así como las relaciones estratigráficas de la formación acuífera con otras formaciones suprayacentes, infrayacentes o adyacentes.
- b. Áreas aflorantes de la formación o formaciones acuíferas, así como los límites de las mismas.
- c. Líneas de contacto de la formación acuífera con otras formaciones más antiguas.

Con la elaboración de secciones geológicas se va determinar una profundidad y espesor aproximado de la formación acuífera. A continuación, se presenta la lista de manantiales muestreados en la subcuenca.

Muestra M-1: El manantial muestreado ha sido captado para el abastecimiento de agua a la comunidad de Tahona Baja, dicho manantial aflora por el material coluvial presente en la zona.

FICHA DE CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO		
Responsable:	Luis Aguilar Llatas	Lugar: Hualgayoc - Cajamarca
Código:	M-1	FOTO DEL MANANTIAL 
Norte (m):	9253751	
Este (m):	764774	
Cota (msnm):	3515	
Zona / Sistema:	WGS 84	
Sector / Caserío:	Tahona	
Comunidad:	Tahona	
Distrito:	Hualgayoc	
Provincia:	Bambamarca	
Departamento:	Cajamarca	
Tipo de fuente:	Filtración natural	
Régimen de flujo:	Permanente	
Uso:	Consumo de la comunidad	
Ubicación:	Tahona Baja	
Material geológico:	Roca sedimentaria. Depósito coluvial (Fm. Carhuaz)	
Surgimiento:	Afloramiento por el material cuaternario	
Observaciones:	Agua clorada ya que el manantial sirve para abastecer a toda la comunidad de Tahona Baja.	

Muestra M-2: Este manantial es utilizado usualmente para la agricultura, aflora por el depósito coluvial (intrusivo diorítico).

FICHA DE CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO		
Responsable:	Luis Aguilar Llatas	Lugar: Hualgayoc - Cajamarca
Código:	M-2	FOTO DEL MANANTIAL 
Norte (m):	9254093	
Este (m):	764618	
Cota (msnm):	3560	
Zona / Sistema:	WGS 84	
Sector / Caserío:	Tahona	
Comunidad:	Tahona	
Distrito:	Hualgayoc	
Provincia:	Bambamarca	
Departamento:	Cajamarca	
Tipo de fuente:	Filtración natural	
Régimen de flujo:	Permanente	
Uso:	Agricultura	
Ubicación:	Tahona Baja	
Material geológico:	Roca ígnea. Depósito coluvial (Fm. Chulec)	
Surgimiento:	Afloramiento por el material cuaternario	
Observaciones:	El manantial presenta abundantes sólidos en suspensión y plantas acuáticas.	

Muestra M-3: El siguiente manantial está contenido en rocas calizas de la Fm. Yumagual, pero aflora por el depósito coluvial, el agua de este manantial es utilizada exclusivamente para la agricultura.

FICHA DE CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO	
Responsable: Luis Aguilar Llatas	Lugar: Hualgayoc - Cajamarca
Código: M-3	FOTO DEL MANANTIAL
Norte (m): 9249932	
Este (m): 763206	
Cota (msnm): 3430	
Zona / Sistema: WGS 84	
Sector / Caserío: Tahona	
Comunidad: Tahona	
Distrito: Hualgayoc	
Provincia: Bambamarca	
Departamento: Cajamarca	
Tipo de fuente: Filtración natural	
Régimen de flujo: Permanente	
Uso: Agricultura	
Ubicación: Caserío collquirrumi	
Material geológico: Roca sedimentaria (Fm. Yumagual)	
Surgimiento: Material coluvial	
Observaciones:	El agua de este manantial es utilizada ocasionalmente para el consumo humano en tiempos de sequía.

Muestra M-4: Este manantial aflora por entre las rocas areniscas de la Fm. Yumagual ubicado en la parte media de la subcuenca y el agua de este manantial es utilizado tanto para la agricultura como para el consumo humano en épocas de verano.

FICHA DE CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO		
Responsable:	Luis Aguilar Llatas	Lugar: Hualgayoc - Cajamarca
Código:	M-4	FOTO DEL MANANTIAL
Norte (m):	9250345	
Este (m):	763331	
Cota (msnm):	3398	
Zona / Sistema:	WGS 84	
Sector / Caserío:	Tahona	
Comunidad:	Tahona	
Distrito:	Hualgayoc	
Provincia:	Bambamarca	
Departamento:	Cajamarca	
Tipo de fuente:	Filtración natural	
Régimen de flujo:	Permanente	
Uso:	Agricultura y consumo	
Ubicación:	Tahona	
Material geológico:	Rocas sedimentarias. (Fm. Yumagual)	
Surgimiento:	Rocas areniscas	
Observaciones:	El agua de este manantial es utilizada ocasionalmente para el consumo humano en tiempos de sequía.	

Muestra M-5: El presente manantial al momento de su muestreo presentaba un agua bastante turbia y está contenida en calizas de la Fm. Carhuaz y aflora por el depósito coluvial presente en la zona.

FICHA DE CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO		
Responsable:	Luis Aguilar Llatas	Lugar: Hualgayoc - Cajamarca
Código:	M-5	FOTO DEL MANANTIAL
Norte (m):	9253270	
Este (m):	766370	
Cota (msnm):	3778	
Zona / Sistema:	WGS 84	
Sector / Caserío:	Tahona	
Comunidad:	Tahona	
Distrito:	Hualgayoc	
Provincia:	Bambamarca	
Departamento:	Cajamarca	
Tipo de fuente:	Filtración natural	
Régimen de flujo:	Permanente	
Uso:	Agricultura y consumo	
Ubicación:	Tahona	
Material geológico:	Material sedimentario. Depósito coluvial (Fm. Carhuaz)	
Surgimiento:	Afloramiento por el material cuaternario	
Observaciones:	En el momento del muestreo el manantial presentaba una turbidez bastante alta.	

Muestra M-6: El manantial está contenido en calizas de la Fm. Chulec además presenta un caudal temporal en épocas de invierno éste manantial se seca completamente.

FICHA DE CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO		
Responsable:	Luis Aguilar Llatas	Lugar: Hualgayoc - Cajamarca
Código:	M-6	FOTO DEL MANANTIAL
Norte (m):	9253709	
Este (m):	766456	
Cota (msnm):	3429	
Zona / Sistema:	WGS 84	
Sector / Caserío:	Tahona	
Comunidad:	Tahona	
Distrito:	Hualgayoc	
Provincia:	Bambamarca	
Departamento:	Cajamarca	
Tipo de fuente:	Filtración natural	
Régimen de flujo:	Temporal	
Uso:	Consumo	
Ubicación:	Caserío Cuadratura	
Material geológico:	Material sedimentario. Fm. Chulec	
Surgimiento:	Afloramiento por el material cuaternario	
Observaciones:	El manantial en tiempo de verano se seca completamente.	

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Análisis Morfológico

La Subcuenca Río Hualgayoc, tiene las siguientes características morfométricas: un área total de 53.07 km²; un perímetro de 27.88 km, y la longitud de su cauce principal de 8.25 km y su desnivel altitudinal es 1312.00 m lo que sería un indicador de la existencia de la variada precipitación por ende también de la temperatura.

Según el orden de drenaje, es de 4^{to} orden de acuerdo a la clasificación de Straller, pertenece a una Subcuenca y también con las tablas estudiadas (Clasificación de Rodríguez R, 2014) tiene la misma denominación. Sus afluentes están distribuidos de acuerdo a la clasificación de R.E. Horton de la siguiente manera; presenta en total 66 afluentes naturales, de los cuales 49 afluentes son de orden 1, 13 afluentes de orden 2, 3 afluentes de orden 3, 1 afluente de orden 4; lo que nos indica una importante actividad erosiva y productora de agua y sedimentos.

La densidad del drenaje es un índice que cuantifica el grado de desarrollo de una red de drenaje, en donde para la Subcuenca del Río Hualgayoc es 1.66, la cual nos indicaría, según lo estudiado, que la Subcuenca presenta una densidad bien drenada por presentar cauces largos; esto nos puede indicar que son zonas de poca cobertura vegetal, suelos impermeables y con un relieve montañoso (Villon, 2002), presentando también una extensión media del escurrimiento superficial un valor de 0.15. El factor de forma es 0.49, así también el índice o coeficiente de compacidad de Gravelius es 1.36, indicando que es una Subcuenca de forma oval-redonda a oval-oblonga, según Mármol (2008) teniendo tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento. Al ser la Subcuenca de forma ovalada, entonces la escorrentía va recorrer causas secundarios hasta llegar a uno principal.

Dentro de los parámetros de Elevación del Terreno o Relieve de la Subcuenca se ha obtenido que la altitud media de la Subcuenca es 3532.59 m.s.n.m. La pendiente media de la Subcuenca $I_p = 0.527$ lo cual indicaría que es medianamente accidentado casi en toda el área de la Subcuenca. El polígono de frecuencias muestra la relación existente entre la altitud y las áreas parciales obtenidas a partir de las curvas a nivel ya mostrados en la parte de los cálculos y en cuanto se refiere a la curva hipsométrica se tiene el siguiente análisis:

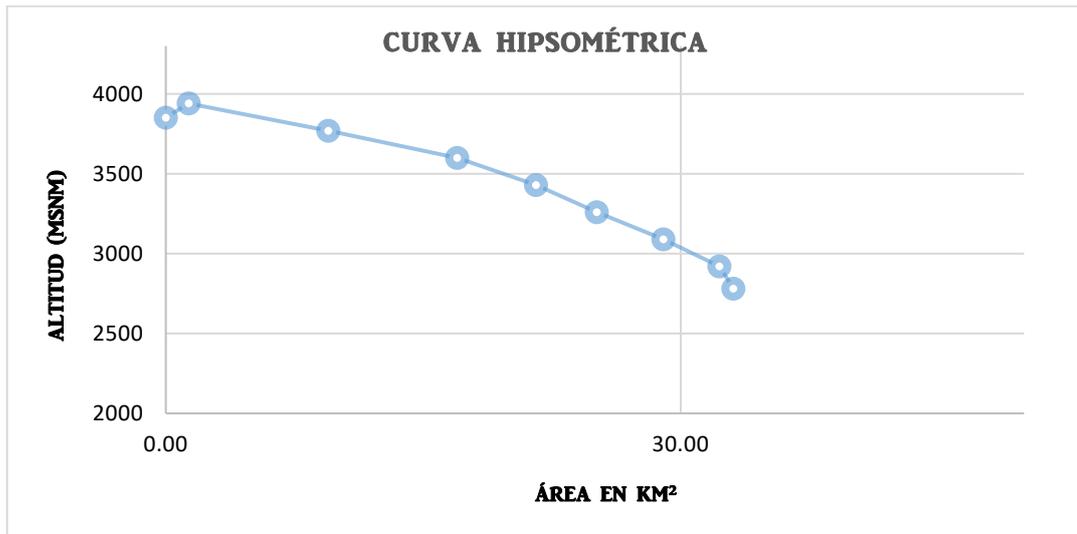


Gráfico 4.1. Curva hipsométrica de la subcuenca Río Hualgayoc.

La curva hipsométrica de la Subcuenca nos muestra que el Río Hualgayoc se encuentra en una etapa de madurez pasando a lo largo del tiempo geológico de ser un río joven a río viejo, así se caracteriza por el transporte de abundantes sedimentos y agua los cuales van a desembocar en las partes más bajas de la Subcuenca. Según el cálculo realizado por el rectángulo equivalente los datos obtenidos son $L = 10.91$ km e $l = 3.03$ km respectivamente.

La pendiente media del Río Hualgayoc se encuentra relacionado directamente con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de avenida y con la capacidad para el transporte de sedimentos, su valor es $I_p = 0.527$ lo cual nos indicaría que es medianamente accidentado mostrando de esta manera el gráfico del perfil longitudinal de la Subcuenca del Río Hualgayoc.

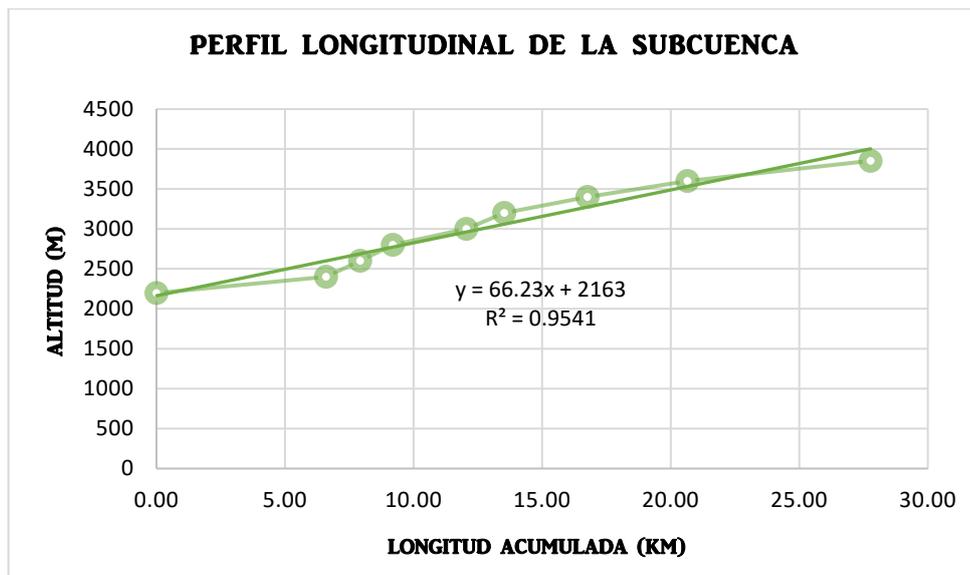


Gráfico 4.2. Perfil longitudinal de la subcuenca Río Hualgayoc.

Finalmente se ha calculado que el coeficiente de Torrencialidad del drenaje de primer orden de la Subcuenca es de 1.48 por Km² lo que indica que el grado de Torrencialidad que presenta la cuenca no es muy elevado y en cuanto respecta al coeficiente de masividad $C_m = 106.82$ significa que la Subcuenca del Río Hualgayoc se encuentra ubicado en una zona montañosa.

4.2 Análisis del Comportamiento Estructural

Los resultados obtenidos de la data tomada en campo nos muestran las tendencias de los planos principales y diaclasas presentes en las Formaciones geológicas Carhuaz, Inca, Chulec, Yumagual, las mismas que están constituidas por secuencias de areniscas de grano fino, calizas intercaladas con lutitas y limolitas, las cuales han sido afectadas por esfuerzos tectónicos los mismos que han generado estructuras como: fallas y el anticlinal de Negritos.

Los estratos y las diferentes familias de diaclasas medidas en las 7 estaciones, se han medido sus orientaciones como son : Dip (D) y Dip Direction (DD) con brújula Brunton en todas las estaciones Geológico – Estructurales, las cuales han sido procesadas mediante el software Dips v6 como se muestra a continuación en los diferentes gráficos.

➤ **Estación N° 01**

En la presente estación el estrato presenta dirección NW – SE con buzamiento de 29° y la dirección de las diaclasas es de NE – SW las mismas que presentan un buzamiento promedio de 69°, 80° y 19° respectivamente, las mismas que tiene incidencia positiva para la formación de manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor de la infiltración es la porosidad secundaria ya que estas se comportan como redes de drenaje para la filtración de aguas de escorrentía que tienden a deslizarse sobre la superficie.

Las discontinuidades presentes se desempeñan como modeladores de las estructuras y estratos debido a que estos generan los planos de debilidad para la posterior acción de la erosión siguiendo la tendencia de los planos de debilidad generados por las diaclasas. Las diaclasas D1 presentan un rumbo NE – SW, cortando al estrato y a las diaclasas D2 y D3 con un buzamiento de 72° hacia el E. Además, las diaclasas D2 cortan al estrato con un buzamiento de 81° teniendo una tendencia perpendicular de corte entre ambas y finalmente la D3 corta al estrato y a las diaclasas D1 y D2 con un buzamiento de 23° hacia el W. Las familias de diaclasas presentes favorecen para la posterior infiltración del agua de escorrentía.

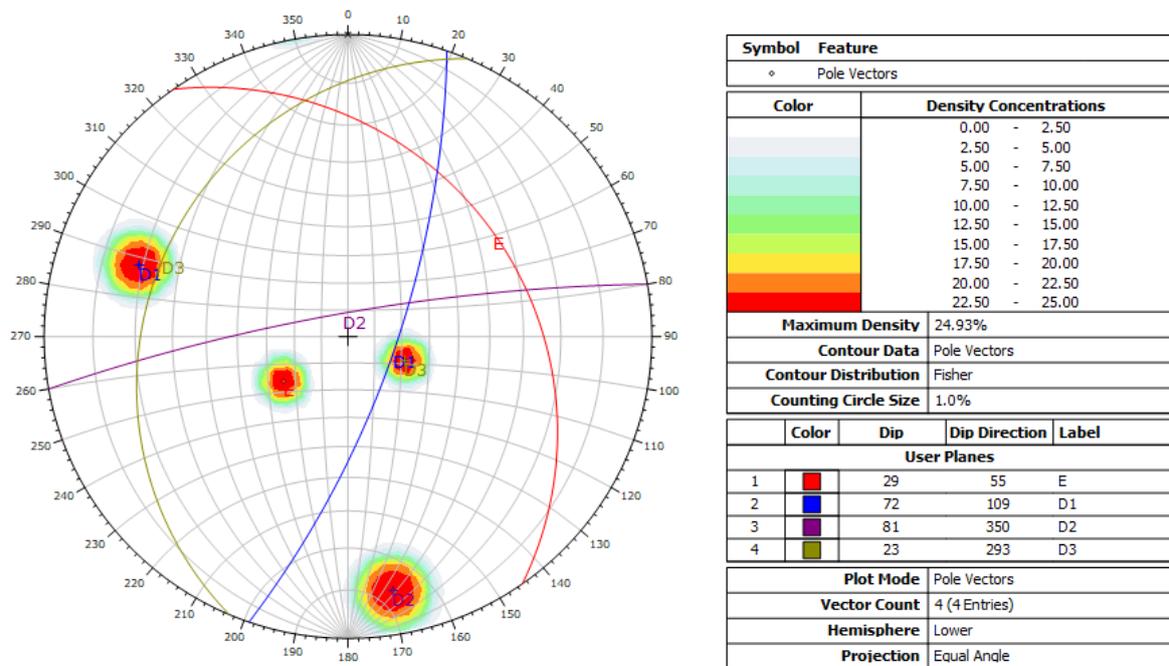


Figura 4.1. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Yumagual.

➤ **Estación N° 02**

En la presente estación los estratos presentan dirección NW – SE con buzamiento de 58° y la dirección de las diaclasas es NE – SW y NW – SE respectivamente, las mismas que presentan un buzamiento promedio de 80° y 69° respectivamente, las mismas que tiene incidencia positiva para la formación de manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor de la infiltración es la porosidad secundaria ya que estas se comportan como redes de drenaje para la filtración de aguas de escorrentía que tienden a deslizarse sobre la superficie.

Las discontinuidades presentes se desempeñan como modeladores de las estructuras y estratos debido a que estos generan los planos de debilidad para la posterior acción de la erosión siguiendo la tendencia de los planos de debilidad generados por las diaclasas. Las diaclasas D1 presentan un rumbo NE – SW, cortando a los estratos y a las diaclasas D2 con un buzamiento de 88° hacia el W. Además, la diaclasa D2 corta a los estratos con un buzamiento de 71° hacia el W. Las familias de diaclasas presentes favorecen para la posterior infiltración del agua de escorrentía.

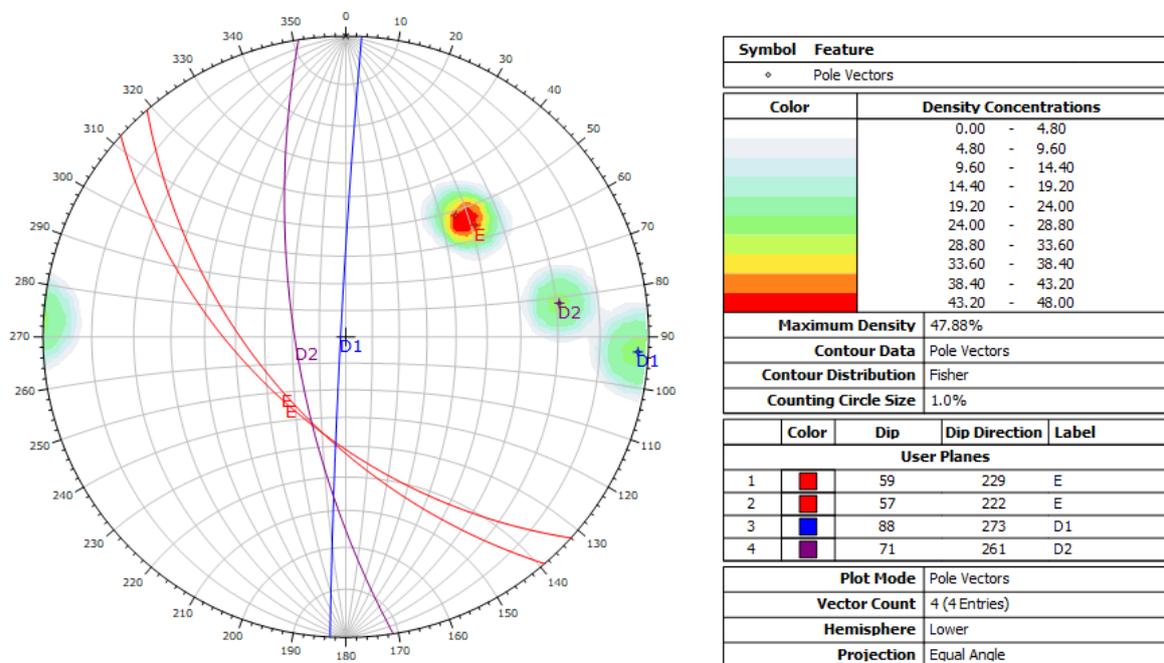


Figura 4.2. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Inca.

➤ **Estación N° 03**

En la presente estación, las tres diaclasas presentan direcciones NW – SE y NE – SW con buzamientos promedios de 81°, 17°, 76° respectivamente, las mismas que tiene incidencia positiva para la formación de manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor de la infiltración es la porosidad secundaria ya que estas se comportan como redes de drenaje para la filtración de aguas de escorrentía que tienden a deslizarse sobre la superficie.

Las discontinuidades presentes se desempeñan como modeladores de las estructuras y estratos debido a que estos generan los planos de debilidad para la posterior acción de la erosión siguiendo la tendencia de los planos de debilidad generados por las diaclasas. Las diaclasas D1 presentan un rumbo NW – SE, cortando a las diaclasas D2 Y D3 con un buzamiento de 81° hacia el W. Además, las diaclasas D2 y D3 cortan a la D1 con buzamientos de 17° y 76° respectivamente, teniendo una tendencia perpendicular de corte entre ambas y finalmente, las familias de diaclasas presentes favorecen para la posterior infiltración del agua de escorrentía.

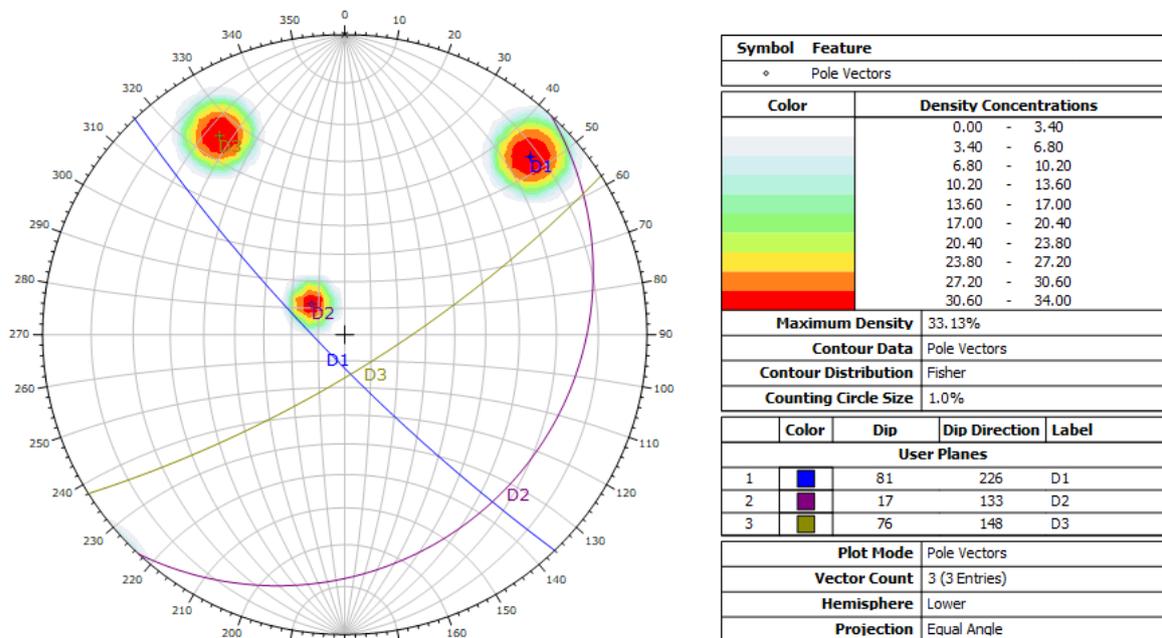


Figura 4.3. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Carhuaz.

➤ **Estación N° 04**

En la presente estación el estrato presenta dirección NW – SE con buzamiento de 24° y la dirección de las diaclasas es de NE – SW y NW – SE, las mismas que presentan un buzamiento promedio de 64°, 70° y 70°, respectivamente las mismas que tienen incidencia positiva para la formación de manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor de la infiltración es la porosidad secundaria ya que estas se comportan como redes de drenaje para la filtración de aguas de escorrentía que tienden a deslizarse sobre la superficie.

Las discontinuidades presentes se desempeñan como modeladores de las estructuras y estratos debido a que estos generan los planos de debilidad para la posterior acción de la erosión siguiendo la tendencia de los planos de debilidad generados por las diaclasas. Las diaclasas D1 presentan un rumbo NW – SE, cortando al estrato y a las diaclasas D2 y D3 con un buzamiento de 77° hacia el E. Además, las diaclasas D2 cortan al estrato con un buzamiento de 67° y finalmente la diaclasa D3 corta al estrato y a las diaclasas D1 y D2 con un buzamiento de 71° hacia el W. Las familias de diaclasas presentes favorecen para la posterior infiltración del agua de escorrentía.

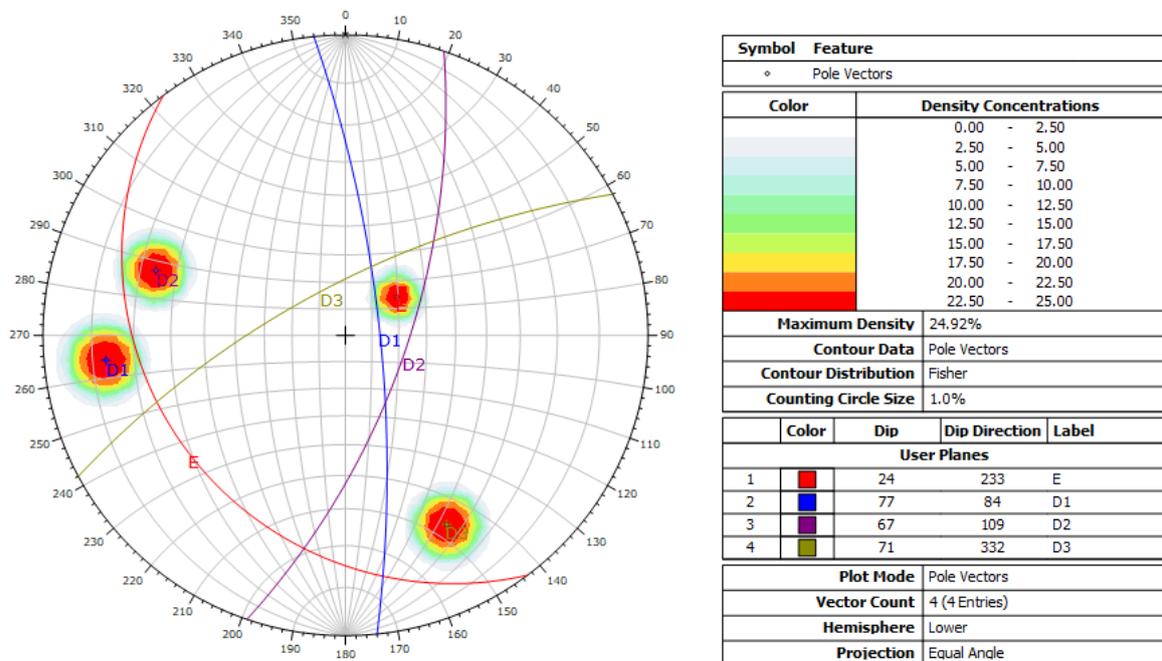


Figura 4.4. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Yumagual.

➤ **Estación N° 05**

En la presente estación el estrato presenta dirección NW – SE con buzamiento de 64° y la dirección de las diaclasas es de NE – SW y NW – SE, las mismas que presentan un buzamiento promedio de 60°, 52° y 45° respectivamente, las mismas que tiene incidencia positiva para la formación de manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor de la infiltración es la porosidad secundaria ya que estas se comportan como redes de drenaje para la filtración de aguas de escorrentía que tienden a deslizarse sobre la superficie.

Las discontinuidades presentes se desempeñan como modeladores de las estructuras y estratos debido a que estos generan los planos de debilidad para la posterior acción de la erosión siguiendo la tendencia de los planos de debilidad generados por las diaclasas. Las diaclasas D1 presentan un rumbo NE – SW, cortando al estrato y a las diaclasas D2 y D3 con un buzamiento de 74° hacia el E. Además, las diaclasas D2 cortan al estrato con un buzamiento de 31°, finalmente la D3 corta al estrato y a las diaclasas D1 y D2 con un buzamiento de 48° hacia el E. Las familias de diaclasas presentes favorecen para la posterior infiltración del agua de escorrentía.

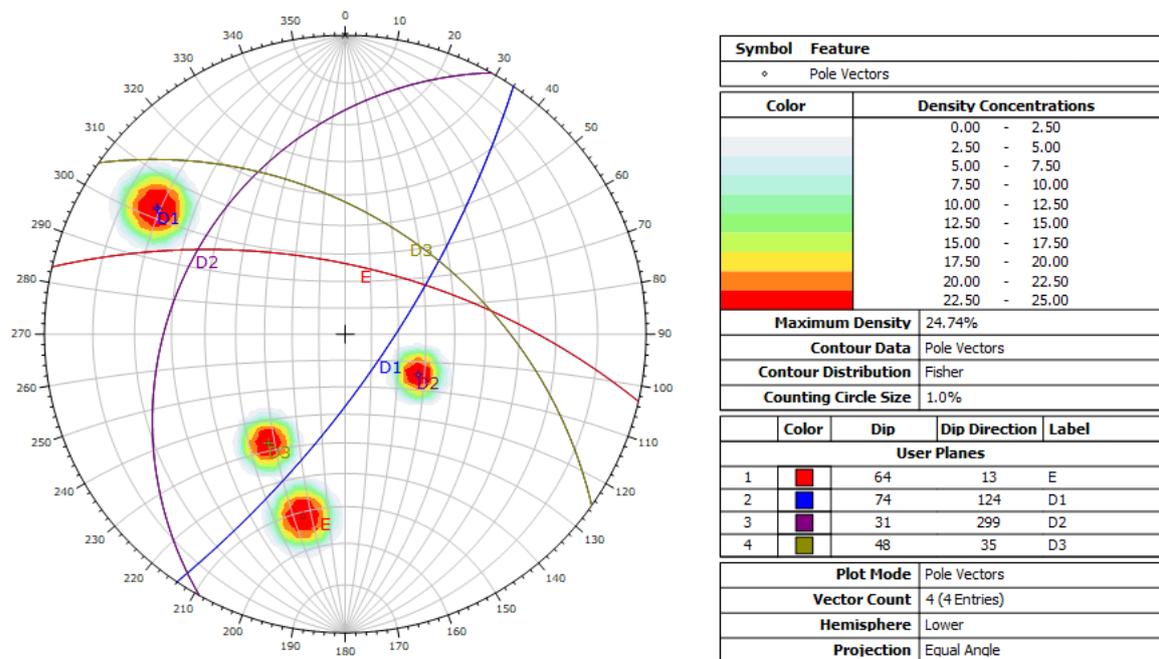


Figura 4.5. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Yumagual.

➤ **Estación N° 06**

En la presente estación el estrato presenta dirección NW – SE con buzamiento de 67° y la dirección de las diaclasas es de NE – SW y NW – SE, las mismas que presentan un buzamiento promedio de 64°, 49° y 43° respectivamente, las mismas que tiene incidencia positiva para la formación de manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor de la infiltración es la porosidad secundaria ya que estas se comportan como redes de drenaje para la filtración de aguas de escorrentía que tienden a deslizarse sobre la superficie.

Las discontinuidades presentes se desempeñan como modeladores de las estructuras y estratos debido a que estos generan los planos de debilidad para la posterior acción de la erosión siguiendo la tendencia de los planos de debilidad generados por las diaclasas. Las diaclasas D1 presentan un rumbo NE – SW, cortando al estrato y a las diaclasas D2 y D3 con un buzamiento de 69° hacia el E. Además, las diaclasas D2 cortan al estrato con un buzamiento de 37°, finalmente la diaclasa D3 corta al estrato y a las diaclasas D1 y D2 con un buzamiento de 46° hacia el E. Las familias de diaclasas presentes favorecen para la posterior infiltración del agua de escorrentía.

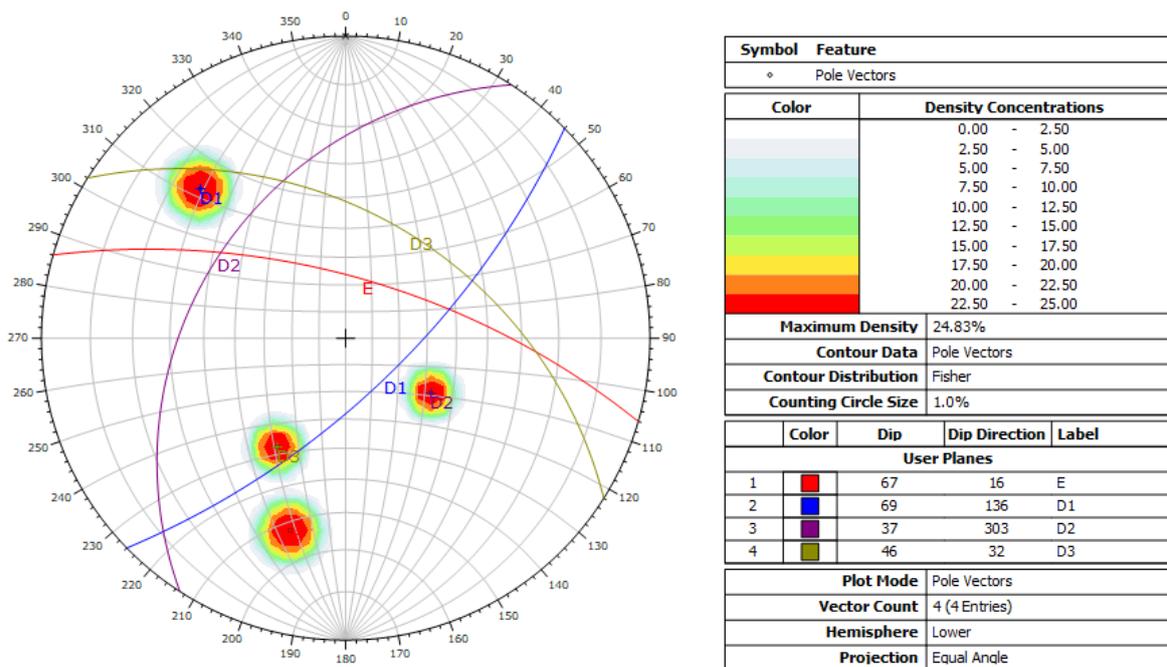


Figura 4.6. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Chulec.

➤ **Estación N° 07**

En la presente estación el estrato presenta dirección NW – SE con buzamiento de 9° y la dirección de las diaclasas es de NE – SW las mismas que presentan un buzamiento promedio de 68°, 81° y 20° respectivamente, las mismas que tiene incidencia positiva para la formación de manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor de la infiltración es la porosidad secundaria ya que estas se comportan como redes de drenaje para la filtración de aguas de escorrentía que tienden a deslizarse sobre la superficie.

Las discontinuidades presentes se desempeñan como modeladores de las estructuras y estratos debido a que estos generan los planos de debilidad para la posterior acción de la erosión siguiendo la tendencia de los planos de debilidad generados por las diaclasas. Las diaclasas D1 presentan un rumbo NE – SW, cortando al estrato y a las diaclasas D2 y D3 con un buzamiento de 69° hacia el E. Además, las diaclasas D2 cortan al estrato con un buzamiento de 84° teniendo una tendencia perpendicular de corte entre ambas y finalmente la D3 corta al estrato y a las diaclasas D2 con un buzamiento de 22° hacia el W. Las familias de diaclasas presentes favorecen para la posterior infiltración del agua de escorrentía.

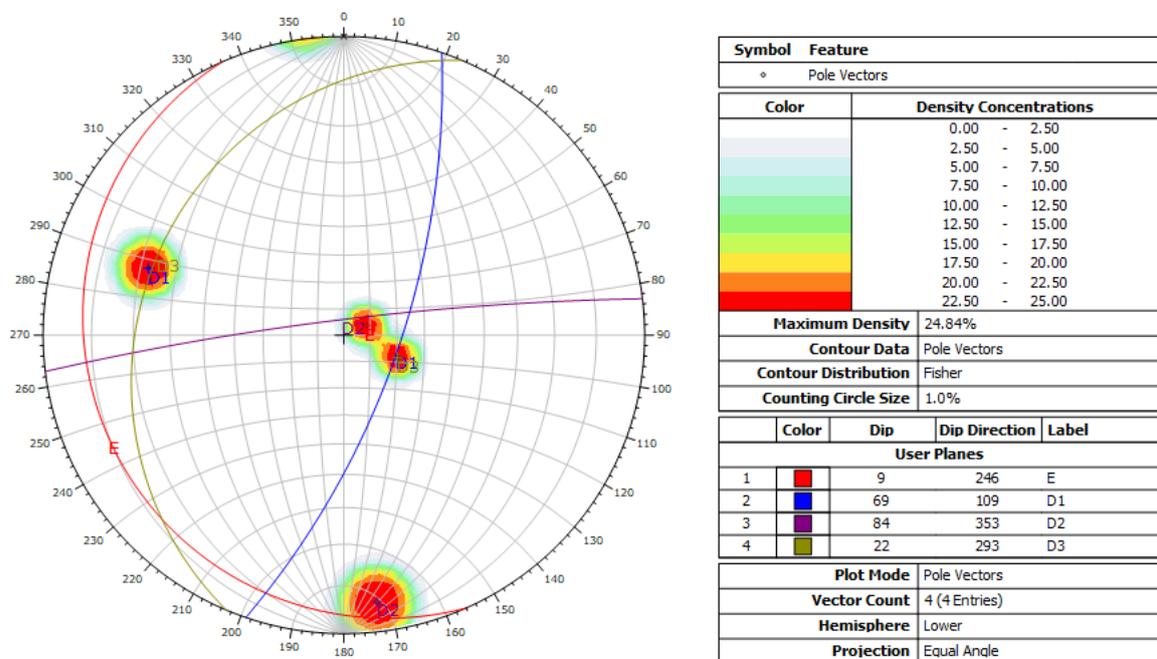


Figura 4.7. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales en la Formación Carhuaz.

4.3 Análisis Hidrogeológico

Las fuentes de agua subterránea representan un registro y evidencia de la presencia de aguas subterráneas en el subsuelo y que a su vez estas afloran en la superficie. Para la realización del presente estudio se inventariaron 6 manantiales las cuales nos van a permitir conocer las principales áreas de descarga hídrica natural, dichos manantiales se encuentran principalmente en la parte alta de la subcuenca.

Los resultados obtenidos del análisis de cada muestra de agua de los manantiales inventariados fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad de Agua establecidos en el DS N°002-2008-MINAM, así como también se ha considerado el DS N° 031-2010-SA (límites máximos permisibles para consumo humano). A continuación, se presenta la relación de muestras para su análisis de cada una de estas.

❖ *Parámetros fisicoquímicos de la Muestra (M-1):*

Los resultados del presente manantial nos arrojan un pH ligeramente básico ($\text{pH} = 7.62$), así como también se tiene una turbidez de 0.32 UNT, el mismo que está muy por debajo de los LMP de acuerdo al DS N°031-2010-SA. La conductividad obtenida es de 1220 uS/cm, con respecto a la dureza tiene un valor de 162 ml/L.

El agua de este manantial es utilizada principalmente para el uso doméstico y ocasionalmente para la agricultura, las características fisicoquímicas presentes son: cloruros, fluoruros, sulfatos, nitratos, cianuro, aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso y zinc, los mismos que se detallan a continuación en el siguiente cuadro (4.1).

❖ *Análisis Bacteriológico de la Muestra (M-1)*

La muestra, presenta 2 UFC/100 ml, de coliformes totales los cuales están por encima de los Límites Máximos permisibles (LMP) para aguas de consumo humano (0 UFC/100 ml) según el DS N°031-2010-SA.

De acuerdo a los resultados, los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles, dadas por la norma para agua de

consumo humano. Se recomienda desinfectar (clorar) el agua, para remover los coliformes existentes.

Cuadro 4.1. Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-1

PARÁMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP
		RESULTADO	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
Turbiedad	UNT	0.32	5
Ph, A 19.7 °C	--	7.62	6.5 - 8.5
Conductividad	uS/cm	1220	1500
Dureza	mg/L	162	500
Cloruros	mg/L	20	250
Fluoruros	mg/L	< 0.02	2
Sulfatos	mg/L	6	250
Nitratos	mg/L	10	50
Cianuro	mg/L	< 0.005	0.07
Aluminio	mg/L	0.019	0.2
Cobre	mg/L	0.094	2
Cromo	mg/L	< 0.002	0.05
Hierro	mg/L	0.092	0.3
Manganeso	mg/L	0.267	0.4
Zinc	mg/L	0.082	3
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO			
Coliformes Totales	UFC/100 mL	2	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	0	0

Fuente: EPS Sedacaj S.A.

❖ *Parámetros fisicoquímicos de la Muestra (M-2):*

Los resultados del presente manantial nos arrojan un pH ligeramente ácido (pH = 6.57), así como también se tiene una turbidez de 0.28 UNT, el mismo que está muy por debajo de los LMP de acuerdo al DS N°031-2010-SA. La conductividad obtenida es de 45 uS/cm, con respecto a la dureza tiene un valor de 14 ml/L.

El agua de este manantial es utilizada principalmente para el uso doméstico y ocasionalmente para la agricultura, las características fisicoquímicas presentes son: cloruros, fluoruros, sulfatos, nitratos, cianuro, aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso y zinc, los mismos que se detallan a continuación en el siguiente cuadro (4.2).

❖ *Análisis Bacteriológico de la Muestra (M-2)*

La muestra, presenta 3 UFC/100 ml, de coliformes totales los cuales están por encima de los Límites Máximos permisibles (LMP) para aguas de consumo humano (0 UFC/100 ml) según el DS N°031-2010-SA.

De acuerdo a los resultados, los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles, dadas por la norma para agua de consumo humano. Se recomienda desinfectar (clorar) el agua, para remover los coliformes existentes.

Cuadro 4.2. Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-2

PARÁMETRO	UNIDAD	M - 2	LMP
		RESULTADO	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
Turbiedad	UNT	0.28	5
Ph, A 19.7 °c	--	6.57	6.5 - 8.5
Conductividad	uS/cm	45	1500
Dureza	mg/L	14	500
Cloruros	mg/L	16	250
Fluoruros	mg/L	< 0.02	2
Sulfatos	mg/L	5	250
Nitratos	mg/L	12	50
Cianuro	mg/L	< 0.005	0.07
Aluminio	mg/L	0.042	0.2
Cobre	mg/L	0.152	2
Cromo	mg/L	< 0.002	0.05
Hierro	mg/L	0.088	0.3
Manganeso	mg/L	0.326	0.4
Zinc	mg/L	0.185	3
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO			
Coliformes Totales	UFC/100 mL	3	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	0	0

Fuente: EPS Sedacaj S.A.

❖ *Parámetros fisicoquímicos de la Muestra (M-3):*

Los resultados del presente manantial nos arrojan un pH ligeramente ácido (pH = 6.51), así como también se tiene una turbidez de 6.51 UNT el cual se encuentra por encima de los

Límites Máximos Permisibles de acuerdo al DS N°031-2010-SA. La conductividad obtenida es de 63.4 uS/cm, con respecto a la dureza tiene un valor de 18 ml/L.

El agua de este manantial es utilizada principalmente para el uso doméstico y ocasionalmente para la agricultura, las características fisicoquímicas presentes son: cloruros, fluoruros, sulfatos, nitratos, cianuro, aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso y zinc, los mismos que se detallan a continuación en el siguiente cuadro (4.3).

❖ *Análisis Bacteriológico de la Muestra (M-3)*

La muestra, presenta 0 UFC/100 ml, de coliformes totales los cuales se encuentran dentro de los Límites Máximos permisibles (LMP) para aguas de consumo humano (0 UFC/100 ml) según el DS N°031-2010-SA.

De acuerdo a los resultados, los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles, dadas por la norma para agua de consumo humano.

Cuadro 4.3. Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-3

PARÁMETRO	UNIDAD	M - 3	LMP
		RESULTADO	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
Turbiedad	UNT	0.89	5
Ph, A 19.7 °c	--	6.51	6.5 - 8.5
Conductividad	uS/cm	63.4	1500
Dureza	mg/L	18	500
Cloruros	mg/L	8	250
Fluoruros	mg/L	< 0.02	2
Sulfatos	mg/L	7	250
Nitratos	mg/L	12	50
Cianuro	mg/L	< 0.005	0.07
Aluminio	mg/L	0.065	0.2
Cobre	mg/L	0.144	2
Cromo	mg/L	< 0.002	0.05
Hierro	mg/L	0.099	0.3
Manganeso	mg/L	0.277	0.4
Zinc	mg/L	0.286	3
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO			
Coliformes Totales	UFC/100 mL	0	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	0	0

Fuente: EPS Sedacaj S.A.

❖ *Parámetros fisicoquímicos de la Muestra (M-4):*

Los resultados del presente manantial nos arrojan un pH ácido (pH = 5.96), así como también se tiene una turbidez de 0.60 UNT el cual se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles de acuerdo al DS N°031-2010-SA. La conductividad obtenida es de 112 uS/cm, con respecto a la dureza tiene un valor de 36 ml/L.

El agua de este manantial es utilizada principalmente para el uso doméstico y ocasionalmente para la agricultura, las características fisicoquímicas presentes son: cloruros, fluoruros, sulfatos, nitratos, cianuro, aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso y zinc, los mismos que se detallan a continuación en el siguiente cuadro (4.4).

❖ *Análisis Bacteriológico de la Muestra (M-4)*

La muestra, presenta 3 UFC/100 ml, de coliformes totales los cuales se encuentran por encima de los Límites Máximos permisibles (LMP) para aguas de consumo humano (0 UFC/100 ml) según el DS N°031-2010-SA.

De acuerdo a los resultados, a excepción del pH, los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles, dadas por la norma para agua de consumo humano. Se recomienda desinfectar (clorar) el agua, para remover los coliformes existentes.

Cuadro 4.4. Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-4

PARÁMETRO	UNIDAD	M - 4	LMP
		RESULTADO	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
Turbiedad	UNT	0.60	5
Ph, A 19.7 °c	--	5.96	6.5 - 8.5
Conductividad	uS/cm	112	1500
Dureza	mg/L	36	500
Cloruros	mg/L	10	250
Fluoruros	mg/L	< 0.02	2
Sulfatos	mg/L	8	250
Nitratos	mg/L	12	50
Cianuro	mg/L	< 0.005	0.07
Aluminio	mg/L	0.084	0.2
Cobre	mg/L	0.176	2
Cromo	mg/L	< 0.002	0.05
Hierro	mg/L	0.075	0.3
Manganeso	mg/L	0.287	0.4
Zinc	mg/L	0.191	3
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO			
Coliformes Totales	UFC/100 mL	3	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	0	0

Fuente: EPS Sedacaj S.A.

❖ *Parámetros fisicoquímicos de la Muestra (M-5):*

Los resultados del presente manantial nos arrojan un pH ácido (pH = 6.01), así como también se tiene una turbidez de 0.81 UNT el cual se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles de acuerdo al DS N°031-2010-SA. La conductividad obtenida es de 411 uS/cm, con respecto a la dureza tiene un valor de 230 ml/L.

El agua de este manantial es utilizada principalmente para el uso doméstico y ocasionalmente para la agricultura, las características fisicoquímicas presentes son: cloruros, fluoruros, sulfatos, nitratos, cianuro, aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso y zinc, los mismos que se detallan a continuación en el siguiente cuadro (4.5).

❖ *Análisis Bacteriológico de la Muestra (M-5)*

La muestra, presenta 4 UFC/100 ml, de coliformes totales los cuales se encuentran por encima de los Límites Máximos permisibles (LMP) para aguas de consumo humano (0 UFC/100 ml) según el DS N°031-2010-SA.

De acuerdo a los resultados, a excepción del pH los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles, dadas por la norma para agua de consumo humano. Se recomienda desinfectar (clorar) el agua, para remover los coliformes existentes.

Cuadro 4.5. Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-5

PARÁMETRO	UNIDAD	M - 5	LMP
		RESULTADO	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
Turbiedad	UNT	0.81	5
Ph, A 19.7 °c	--	6.01	6.5 - 8.5
Conductividad	uS/cm	411	1500
Dureza	mg/L	230	500
Cloruros	mg/L	13	250
Fluoruros	mg/L	< 0.02	2
Sulfatos	mg/L	9	250
Nitratos	mg/L	11	50
Cianuro	mg/L	< 0.005	0.07
Aluminio	mg/L	0.068	0.2
Cobre	mg/L	0.267	2
Cromo	mg/L	< 0.002	0.05
Hierro	mg/L	0.098	0.3
Manganeso	mg/L	0.288	0.4
Zinc	mg/L	0.354	3
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO			
Coliformes Totales	UFC/100 mL	4	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	0	0

Fuente: EPS Sedacaj S.A.

❖ ***Parámetros fisicoquímicos de la Muestra (M-6):***

Los resultados del presente manantial nos arrojan un pH ligeramente básico ($\text{pH} = 7.65$), así como también se tiene una turbidez de 7.91 UNT el cual se encuentra por encima de los Límites Máximos Permisibles de acuerdo al DS N°031-2010-SA. La conductividad obtenida es de 377 uS/cm, con respecto a la dureza tiene un valor de 248 ml/L.

El agua de este manantial es utilizada principalmente para el uso doméstico y ocasionalmente para la agricultura, las características fisicoquímicas presentes son: cloruros, fluoruros, sulfatos, nitratos, cianuro, aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso y zinc, los mismos que se detallan a continuación en el siguiente cuadro (4.6).

❖ ***Análisis Bacteriológico de la Muestra (M-6)***

La muestra, presenta 8 UFC/100 ml, de coliformes totales los cuales se encuentran muy por encima de los Límites Máximos permisibles (LMP) para aguas de consumo humano (0 UFC/100 ml) según el DS N°031-2010-SA.

De acuerdo a los resultados, a excepción de la turbiedad los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles, dadas por la norma para agua de consumo humano. Se recomienda desinfectar (clorar) el agua, para remover los coliformes existentes.

Cuadro 4.6. Parámetros fisicoquímicos de la muestra M-6

PARÁMETRO	UNIDAD	M - 6	LMP
		RESULTADO	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
Turbiedad	UNT	7.91	5
Ph, A 19.7 °c	--	7.65	6.5 - 8.5
Conductividad	uS/cm	377	1500
Dureza	mg/L	248	500
Cloruros	mg/L	11	250
Fluoruros	mg/L	< 0.02	2
Sulfatos	mg/L	10	250
Nitratos	mg/L	15	50
Cianuro	mg/L	< 0.005	0.07
Aluminio	mg/L	0.186	0.2
Cobre	mg/L	0.576	2
Cromo	mg/L	< 0.002	0.05
Hierro	mg/L	0.389	0.3
Manganeso	mg/L	0.482	0.4
Zinc	mg/L	0.658	3
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO			
Coliformes Totales	UFC/100 mL	8	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	0	0

Fuente: EPS Sedacaj S.A.

4.3.1 Análisis Comparativo de los Parámetros Fisicoquímicos

El análisis de los parámetros fisicoquímicos se ha realizado para los metales los mismos que nos arrojan diferencias en función a la formación geológica que estas se encuentran, en las 6 muestras analizadas se puede ver que el nivel de cromo (< 0.002) está muy por debajo de los Límites máximos Permitidos (LMP), la cantidad de aluminio en la muestra M-1 es de 0.019 mg/L mostrando esta la cantidad más baja de este metal con respecto a la muestra M-5 que presenta los niveles más altos de todas las muestras analizadas con un valor de 0.186 mg/L, la cantidad de cobre en la muestra M-1 es de 0.094 mg/L, siendo esta muestra la que menos niveles de cobre presenta con respecto a las demás, el promedio de las muestras M-2, M-3, M-4 es de 0.157 mg/L, siendo la muestra M-5 la que presenta niveles más altos con un valor de 0.576 mg/L y la muestra M-6 presenta valores intermedios 0.267 mg/L.

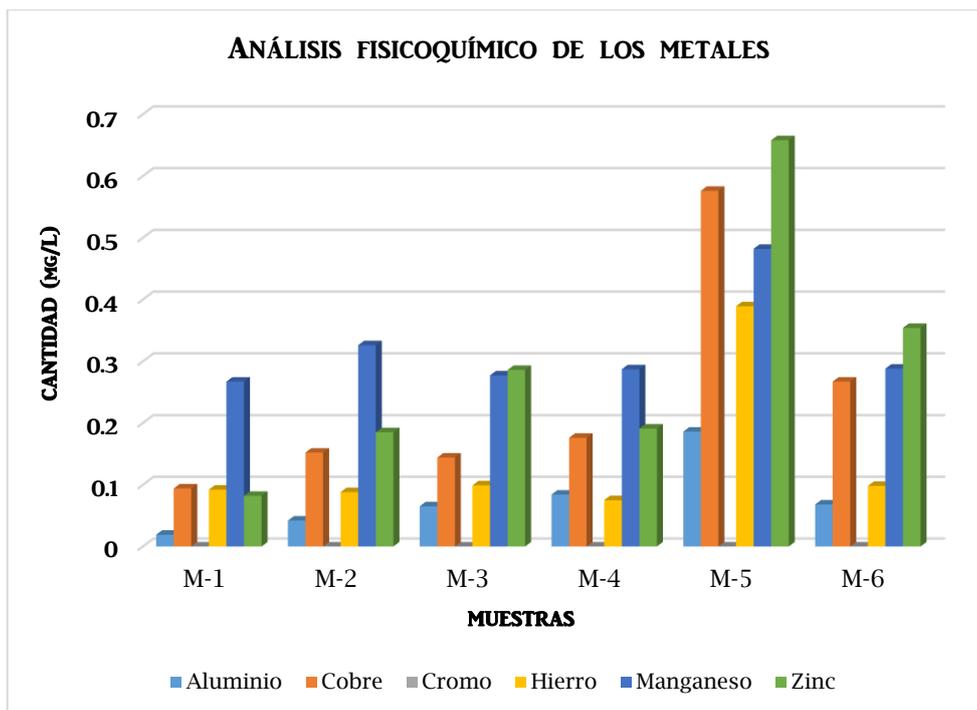


Gráfico 4.3: Análisis fisicoquímico de la cantidad de metales en las muestras de agua

Los niveles de hierro en las muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-6, presentan un valor promedio de 0.090 mg/L estando estos dentro de los parámetros establecidos, la muestra M-5 presenta un valor de 0.389 mg/L siendo esta la que presenta mayores niveles de hierro, con respecto al manganeso las muestras M-2 Y M-5 son las que muestran mayores niveles con valores de 0.326 mg/L y 0.482 mg/L respectivamente, siendo las muestras M-1, M-3, M-4, M-6 las que presentan valores similares con un promedio de 0.279 mg/L. Finalmente la cantidad de zinc es variable en todas las muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6, con valores de 0.082 mg/L, 0.185 mg/L, 0.286 mg/L, 0.191 mg/L, 0.658 mg/L, 0.354 mg/L respectivamente.

La muestra que presenta mayores valores de los distintos metales analizados es la muestra M-5, es porque cerca a este manantial pasa un sill diorítico el cual hace que los valores de los diferentes metales analizados sean altos, producto del contacto del agua subterránea con dicha estructura mineralizada.

CONCLUSIONES

- ❖ En la zona de investigación se determinó que las estructuras, unidades morfológicas, litología y las diaclasas, son las que presentan las condiciones favorables para la formación de la red hídrica tanto subterránea o hidrogeológica a través de la infiltración.
- ❖ Se realizó la caracterización hidrogeológica de la subcuenca teniendo como base el inventario de los manantiales y los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de los 6 manantiales inventariados los mismos que se relacionan directamente con las formaciones geológicas presentes en la zona de investigación.
- ❖ En el cartografiado tanto geológico como hidrogeológico se ha logrado identificar que la subcuenca está formada preferentemente por Formaciones calcáreas las mismas que por su naturaleza presentan condiciones favorables para la formación de acuíferos.
- ❖ De los 21 parámetros geomorfológicos analizados de la Subcuenca del Río Hualgayoc, se concluyó que los de mayor incidencia son: el área que tiene un valor de 53.07 km², perímetro 27.88 km, la longitud del cauce principal es de 8.25 km y el desnivel altitudinal de 1312.00 m.s.n.m.

RECOMENDACIONES

- ❖ Determinar la dirección de flujo del agua en suelos y rocas en la subcuenca utilizando trazadores.
- ❖ Realizar un cartografiado detallado de los diferentes sills presentes en la subcuenca ya que estos pueden tener incidencia en la calidad del agua subterránea debido a que muchos de estos están mineralizados.
- ❖ Realizar un monitoreo permanente de la calidad del agua de los manantiales inventariados para ver la variación de estos durante las diferentes estaciones del año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ Alonso, 2001. Geología en Acción. España. 22 pág.
- ❖ Custodio, Emilio. (2001). Hidrología Subterránea. Segunda Edición. Ediciones Omega, S. A., Barcelona 2001.
- ❖ Campos, D. ,1998. Procesos del ciclo hidrogeológico. San Luis de Potosí, México: 3ra.Reimpresión. Universidad. Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. San Luis Potosí, México.
- ❖ Dávila, J. (2011). Diccionario Geológico. Lima-Perú. Ingemmet.
- ❖ González de Vallejo, L. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid-España. Editorial Pearson Educación S. A.
- ❖ Gil Montes, 2005. Recursos Hidrogeológicos. 29 pág.
- ❖ Gravusob B., 2002. Lithology. Genetic Types And Lithological Species Of Parent And Underlying Rocks. In: Stolbovoi V Savin I Sheremet B & Kolesnikova L 2002. Land Resources Of Russia. International Institute For Applied Systems Analysis A-2361, Laxenburg, Austria.
- ❖ Linsley, 1977. Hidrología para Ingenieros. Editorial Mc Graw-Hill. Segunda Edición. Cali – Colombia. 398 pág.
- ❖ Londoño A., 2001. Cuencas Hidrográficas: Bases Conceptuales – Caracterización – Planificación – Administración. Ibagué 2001. 359 pág.
- ❖ Mendivil, S. (1979). Unidades Litomorfoestructurales: Criterio de Clasificación Estratigráfica. Editado y Publicado por el Centro de Estudiantes de Geología. UNMSM. Lima-Perú.
- ❖ Monsalve, S. G. (1999). Hidrología En La Ingeniería. Edit. Alfa Omega, 2da Edición.

- ❖ Navarro A. 2002. Conceptos Básicos De Hidrogeología, 9 Pág.
- ❖ Ortiz, O. (2004). Evaluación Hidrológica. Lima-Perú. Publicación en Hidrored.
- ❖ Reyes L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, y Cajabamba Instituto Nacional Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- ❖ Llamas, J. Hidrología General Principios y Aplicaciones. (México: Universidad Autónoma de México, C, D. 1989).
- ❖ Sitter De L. U. (1976) Cuarta Edición. Geología Estructural. Ediciones Omega, S. A, Barcelona, 1976.
- ❖ Villón, 2002. Hidrología. Editorial Villón. Segunda Edición. Lima - Perú. 436 pág.

ANEXOS