

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



TESIS PROFESIONAL

**MODELO DE PERMEABILIDAD MEDIANTE EL SISTEMA SWiPS EN
PERFORACIONES ORIENTADAS EN EL PROYECTO CAÑARIACO, CAÑARIS,
FERREÑAFE, LAMBAYEQUE.**

**Tesis para optar el Título Profesional de
INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentado por:
Bach. WILDER IVÁN ABANTO ARÉVALO**

**Asesor:
Mg. SEGUNDO REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO**

**CAJAMARCA - PERÚ
2018**

DEDICATORIA:

El presente trabajo lo dedico con mucho cariño:

Primeramente, a Dios por el amor, comprensión y protección
que nos brinda cada día.

A mi Esposa Rosario e hijos Iván y Andrés que son mi fortaleza y
mi fuente de inspiración.

A mis padres Carmen y Jorge, que en todo momento me brindaron su apoyo,
para lograr esta meta.

A mis hermanos por su amistad, afecto y aliento
para culminar con este objetivo.

AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi asesor de tesis, Mg. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado por su esfuerzo y dedicación quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda concluir con éxito la presente tesis.

También agradezco a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Geológica que durante toda mi carrera profesional y ejecución de la presente tesis me brindaron su apoyo y sus conocimientos.

	Pág.
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE FOTOS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
Definición del Problema.	2
Alcances.	2
FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	2
JUSTIFICACIÓN.	2
OBJETIVOS.	3
General.	3
Específicos.	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.	4
2.1.1 Antecedentes Internacionales.	4
2.1.2 Antecedentes Nacionales.	5
2.1.3 Antecedentes Locales.	5
2.2 BASE TEÓRICA.	5
2.2.1 Teoría de la Investigación.	5
2.2.2 Ciclo Hidrológico.	6
2.2.3 Permeabilidad.	7
2.2.4 Perforaciones Orientadas.	11
2.2.5 Ensayo de permeabilidad Tipo Lugeon.	14

	Pág.	
2.2.6	Sistema SWiPS – Obturador Estándar con Cable.	20
2.2.7	Clasificación de las Formaciones Geológicas según su Comportamiento Hidrogeológico.	22
2.2.8	Infiltración.	26
2.2.9	Hidrogeología.	27
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.	40
CAPÍTULO III:	MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1	GENERALIDADES.	43
3.1.1	Ubicación y Acceso.	43
3.1.2	Clima y Meteorología.	48
3.1.3	Fisiografía.	52
3.1.4	Vegetación.	54
3.1.5	Geografía.	55
3.1.6	Geomorfología.	55
3.1.7	Unidades Geomorfológicas.	57
3.1.8	Drenaje.	59
3.1.9	Hidrología.	60
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	63
3.3	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.	64
3.3.1	Etapa de Gabinete.	64
3.3.2	Etapa de Campo.	64
3.4	TÉCNICA DE RECOPIACIÓN DE DATOS.	64
3.5	MATERIALES Y EQUIPOS.	65
3.6	PROCESAMIENTO DE DATOS.	66
3.7	GEOLOGÍA REGIONAL.	66
3.7.1	Estratigrafía.	66
3.7.2	Geología Estructural.	70
3.7.3	Geología Histórica.	70
3.8	GEOLOGÍA LOCAL.	71
3.8.1	Geología Estructural.	73
3.8.2	Tipo de Deposito.	73

3.8.9	DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	Pág 74
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		76
4.1	ENSAYO DEL MÉTODO SWIPS.	76
4.2	MÉTODO DE PRUEBA.	79
4.3	ENFOQUE DEL ANÁLISIS.	81
4.4	ANÁLISIS GEOTÉCNICO E HIDROGEOLÓGICO.	82
4.5	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	82
4.5.1	Modelo Hidrogeológico Local.	83
4.5.2	Unidades Hidrogeológicas.	84
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		85
5.1	CONCLUSIONES.	85
5.2	RECOMENDACIONES.	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		87
ANEXOS		

LISTA DE TABLAS

	Pág.	
<i>Tabla 01</i>	Ubicación en Coordenadas UTM del Proyecto Cañariaco.	44
<i>Tabla 02</i>	Vías de acceso al Proyecto Cañariaco.	46
<i>Tabla 03</i>	Estaciones Metereológicas.	49
<i>Tabla 04</i>	Temperatura media máxima mensual y anual.	50
<i>Tabla 05</i>	Altitud Vs Temperatura Media Anual.	50
<i>Tabla 06</i>	Altitud Vs Precipitación Media Anual.	51
<i>Tabla 07</i>	Temperatura y Precipitación en la Estación Cañariaco	52
<i>Tabla 08</i>	Metodología de la Investigación.	64
<i>Tabla 09</i>	Técnicas para la recolección de datos.	65
<i>Tabla 10</i>	Materiales y Equipos.	66
<i>Tabla 11</i>	Ubicación de Puntos de Perforación.	75

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 01</i>	Ciclo Hidrológico del Agua.	6
<i>Figura 02</i>	Logaritmo de permeabilidades en rocas y sedimentos.	7
<i>Figura 03</i>	Coeficiente de permeabilidad en Suelos.	8
<i>Figura 04</i>	Coeficiente de permeabilidad en Rocas.	9
<i>Figura 05</i>	Permeabilidad Absoluta.	9
<i>Figura 06</i>	Permeabilidad Efectiva.	10
<i>Figura 07</i>	Permeabilidad Relativa.	10
<i>Figura 08</i>	Equipo Reflex ACT II RD para perforaciones.	13
<i>Figura 09</i>	Medición de Core en nivel en "V".	14
<i>Figura 10</i>	Procedimiento del Ensayo de Lugeon.	15
<i>Figura 11</i>	Tipos de Flujo – Ensayo de Lugeon.	17
<i>Figura 12</i>	Ensayo de Lugeon con el equipo SWiPS.	19
<i>Figura 13</i>	Equipo SWiPS.	21
<i>Figura 14</i>	Acuífero no confinado (Libre).	24
<i>Figura 15</i>	Acuífero confinado y pozo artesiano.	24
<i>Figura 16</i>	Acuífero confinado por acuitardos y acuífero colgado.	25
<i>Figura 17</i>	Tipos de Intersticios de las rocas.	28
<i>Figura 18</i>	Comportamiento del agua en los materiales.	30

	Pág.
<i>Figura 19</i>	Sección vertical de un flujo. 31
<i>Figura 20</i>	Red de flujo subterráneo. 31
<i>Figura 21</i>	Porosidad en función de la granulometría. 37
<i>Figura 22</i>	Efecto de la anisotropía en relación con la conductividad hidráulica para distintos tipos de roca. 37
<i>Figura 23</i>	Relación entre la porosidad y el almacenamiento. 38
<i>Figura 24</i>	Ley de Darcy. 39
<i>Figura 25</i>	Método de Hvorslev. 40
<i>Figura 26</i>	Ubicación Política del Proyecto Cañariaco. 43
<i>Figura 27</i>	Ubicación de Puntos en Google Earth. 45
<i>Figura 28</i>	Accesibilidad hacia el proyecto Cañariaco. 47
<i>Figura 29</i>	Datos a tomar en el manómetro. 78
<i>Figura 30</i>	Presión vs tiempo de prueba lugeon y prueba constante 80
<i>Figura 31</i>	Información de pruebas en terreno. 81

LISTA DE FOTOS

<i>Foto 01</i>	Orientación de Testigos en Perforaciones. 11
<i>Foto 02</i>	Medición del Ángulo Alfa. 12
<i>Foto 03</i>	Medición del Ángulo Beta. 13
<i>Foto 04</i>	Camino de herradura hacia la plataforma de perforación. 48
<i>Foto 05</i>	Fisiografía del proyecto Cañariaco. 53
<i>Foto 06</i>	Vista del Bosque alto en Cañariaco. 55
<i>Foto 07</i>	Geomorfología del Proyecto Cañariaco. 56
<i>Foto 08</i>	Muestra de Fallamiento de extensión de 400 mm. 56
<i>Foto 09</i>	Vista de las Montañas con pendientes abruptas. 57
<i>Foto 10</i>	Unidades Geomorfológicas en el Proyecto Cañariaco. 58
<i>Foto 11</i>	Vista del Río Cañariaco. 63
<i>Foto 12</i>	Inspección de Packer del método SWiPS. 79

RESUMEN

El presente estudio busca establecer un modelo de la permeabilidad mediante el Sistema SWiPS en las perforaciones orientadas, que se realizaron en el Proyecto Cañariaco, ubicado en el distrito de Cañaris, provincia de Ferreñafe y departamento de Lambayeque, donde el Sistema SWiPS sustituye en todas sus aplicaciones al antiguo sistema de obturadores inflados con gas y con cable ya que este sistema es a base de inyección de agua que se realiza en el ensayo de Lugeon, con lo cual se busca lograr un modelo de análisis de la Permeabilidad en rocas volcánicas y plutónicas presentes en el Proyecto Cañariaco, es por ello que se realizó el cartografiado geológico de la zona de estudio, así mismo se determinó las características físicas de las estructuras que poseen las rocas que se encuentran en el proyecto mediante el logeo geotécnico de los testigos de perforación y también se determinó los paramentos hidrogeológicos que presentan las rocas del Proyecto Cañariaco. Por lo tanto se determinó que las rocas presentes son favorables para formar acuíferos de dos tipos: libre y confinado, ya que poseen una conductividad hidráulica promedio de $4E-10$ m/s (casi impermeable), donde el acuífero confinado se ubica en la zona profunda del valle, recargado por la moderada permeabilidad de las rocas intrusivas (zonas de fallas y fracturas) debido a las filtraciones de la cuenca, llegando a niveles piezómetros sobre el nivel del valle y el acuífero libre el cual está en las zonas de las rocas volcánicas, debido a la baja permeabilidad y moderada porosidad, descargando rápidamente su contenido hacia las zonas bajas y edáficas de la cuenca.

Palabras claves: Modelamiento, Permeabilidad, Geotecnia, Hidrogeología, Geomorfología, Acuífero, Conductividad Hidráulica, Ensayo Lugeon, Sistema SWiPS de packer con cable, Perforación Orientada.

ABSTRACT

The present study seeks to establish a permeability model through the SWiPS System in the oriented drilling, which was carried out in the Cañariaco Project, located in the Cañaris district, Ferreñafe province and Lambayeque department, where the SWiPS System replaces all its applications to the old gas and cable inflated shutter system since this system is based on water injection that is performed in the Lugeon test, which seeks to achieve a model of permeability analysis in volcanic and plutonic rocks present in the Cañariaco Project, that is why the geological mapping of the study area was carried out, as well as determining the physical characteristics of the structures that have the rocks that are in the project through the geotechnical logging of the drill core and also determined the hydrogeological parameters that present the rocks of the Cañariaco Project. Therefore it was determined that the present rocks are favorable to form aquifers of two types: free and confined, since they have an average hydraulic conductivity of $4E-10$ m / s (almost impermeable), where the confined aquifer is located in the area deep in the valley, recharged by the moderate permeability of the intrusive rocks (fault zones and fractures) due to the leaks of the basin, reaching piezometer levels above the level of the valley and the free aquifer which is in the zones of the rocks volcanic, due to the low permeability and moderate porosity, rapidly discharging its contents towards the low and edaphic zones of the basin.

Keywords: Modeling, Permeability, Geotechnics, Hydrogeology, Geomorphology, Aquifer, Hydraulic Conductivity, Lugeon Test, SWiPS packer system with cable, Oriented Drilling.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Tesis Profesional busca proporcionar un modelo de la permeabilidad mediante el sistema SWiPS además de los procedimientos operativos útiles, orientación detallada para el mantenimiento y ayuda para la solución de problemas, teniendo como base la utilización de este método.

El Sistema de obturadores estándar de cable SWiPS, sustituye en todas sus aplicaciones al antiguo sistema de obturadores inflados con gas y con cable, sin necesidad de un cable de acero fijo, tubo para inflar e instalaciones para inyección de gas. El sistema de obturadores estándares con cable SWiPS solo utiliza un elemento de obturador para pruebas con un solo tapón y dos componentes para un sistema doble. De este modo ofrece muchos beneficios al simplificar el equipo y su facilidad de uso. Esto hace que las operaciones con SWiPS sean mucho más simples para operaciones en profundidad o en ubicaciones extremadamente remotas en términos de logística, Las pruebas hidrogeológicas con sistemas de packer con cable son un componente común de los programas de ensayos geotécnicos.

Cañariaco, descubierto por Ingemmet en los años 70. Este yacimiento se encuentra emplazado en una roca tonalítica porfirítica. La mineralización se ha localizado en el stock intrusivo y en menor grado en los cuerpos de brecha y rocas adyacentes. Las minas son de calcopirita y molibdenita que ocurren en finas disseminaciones y en relleno de fracturas asociadas a venas de cuarzo. Los sulfuros secundarios como covelita, digenita, calcosita son coincidentes con la zona de cuarzo sericita.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- **Definición del Problema**

La tesis consiste en el estudio de un nuevo modelo para establecer la permeabilidad mediante el Sistema SWiPS en las perforaciones orientadas, que se realizaron en el Proyecto Cañariaco.

- **Alcances**

La presente Tesis se desarrolla con la finalidad de lograr un método en el estudio de la permeabilidad en las perforaciones orientadas mediante el Sistema SWiPS. El presente estudio pre profesional se hará con la finalidad de lograr un aporte científico, a los interesados de seguir investigando y estudiar esta magnífica ciencia como es la Geotecnia, logrando alcanzar un conocimiento sólido. Conocer los nuevos mecanismos para el estudio de la permeabilidad de todas las formaciones existentes en el lugar.

FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las condiciones geológicas y geomecánicas de las rocas volcánicas y plutónicas presentan condiciones de permeabilidad media siendo el sistema SWiPS, el que determine las características y condiciones de dicha permeabilidad.

JUSTIFICACIÓN

Con el desarrollo del proyecto de Tesis contaremos con información sobre la nueva metodología al realizar los ensayos de la permeabilidad en los diferentes tipos de rocas.

Para esto se hará un estudio de campo en el cual realizaremos perforaciones orientadas donde realizaremos el logueo de la roca y sobre todo la determinación de la permeabilidad con esta nueva metodología denominada SWiPS, todos los datos obtenidos serán verificados con la data del SWiPS.

OBJETIVOS

General

Lograr un modelo de análisis de la Permeabilidad en rocas volcánicas y plutónicas mediante el Sistema SWiPS en el Proyecto Cañariaco.

Específicos

Cartografiado geológico de la zona de estudio.

Determinar las características físicas de las estructuras que poseen las rocas que se encuentran en el proyecto mediante el logueo de los testigos de perforación.

Identificar los paramentos hidrogeológicos de las rocas presentes mediante el SWiPS, para determinar el modelo de permeabilidad del Proyecto Cañariaco.

En resumen en cuanto a los capítulos de esta tesis, en el segundo capítulo se presenta los antecedentes teóricos que presentan relación con el área de investigación y otros relacionados al tema, las bases teóricas necesarias en cuanto a la permeabilidad, hidrogeología y métodos utilizados como el sistema SWiPs y las perforaciones orientadas que se realizaron en el proyecto. El tercer capítulo contiene la ubicación, metodología, los procedimientos utilizados y la hidrología, geología regional y local del área de estudio. En el cuarto capítulo se analiza y se discute los resultados, se contrasta la hipótesis, determinando la veracidad de ella y por último en el quinto capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es una actividad orientada a la obtención de nuevos conocimientos y su aplicación para la solución a problemas o interrogantes de carácter científico así mismo es el nombre general que obtiene el complejo proceso en el cual los avances científicos son el resultado de la aplicación del método científico para resolver problemas o tratar de explicar determinadas observaciones.

La zona de estudio no cuenta con estudios relacionados a la permeabilidad por esto se toma datos de algunos estudios realizados en el proyecto minero.

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Lache (2008). “Ensayo de la permeabilidad de rocas: automatización de la prueba”. Determinar adecuadamente la permeabilidad de una roca, es una tarea de gran importancia para la industria petrolera, ya que con éstos resultados se caracterizan las formaciones rocosas, prediciendo el comportamiento del yacimiento y del pozo de interés. Es por esto que se realizan ensayos de permeabilidad en el laboratorio de mecánica de rocas del ICP, para cumplir con las necesidades locales de caracterización de medios porosos buscando siempre obtener resultados confiables y semejantes al ambiente que se tiene en el yacimiento.

Lorca (2011). “Hidrogeología e Hidrogeoquímica de la Cuenca de la Quebrada Paipote, Región de Atacama”. Tesis de grado (UCHILE). 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.

Cervetto (2012). Caracterización Hidrogeológica e Hidrogeoquímica De Las Cuencas: Salar De Aguas Calientes 2, Puntas Negras, Laguna Tuyajto, Pampa Colorada, Pampa Las Tecas Y Salar El Laco, II Región De Chile”. El estudio se centró en caracterizar el funcionamiento hidráulico de las cuencas endorreicas Salar de Aguas Calientes 2, Puntas Negras, Laguna Tuyajto, Pampa Colorada, Pampa Las Tecas y Salar El Laco, ubicadas en la II Región de Antofagasta.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

INGEMMET (1973). Depósito descubierto por medio de Perforaciones, en el proyecto ubicado en Kañaris, ubicado en el departamento de Lambayeque, con la finalidad de identificar tipo de depósito de mineralización.

INGEMMET (1984) Boletín N° 38, donde detalla la geología de las Cartas Geológicas de los cuadrángulos de Jayanca e Incahuasi.

GOBIERNO REGIONAL DE LAMBAYEQUE (2013) Estudio geológico del Departamento de Lambayeque. Describe las diferentes formaciones rocas encontradas en todo el departamento de Lambayeque.

2.1.3 Antecedentes Locales

CANDENTE COOPER CORP (2012). Exposición de la Etapa de exploración en el Desarrollo de una mina, detalla las actividades realizadas en el proyecto Cañariaco.

MARÍN, E. (2011). Caracterización Hidrogeoquímica para Línea de Base para el proyecto de Cobre Cañariaco, se detalla la composición química de las aguas encontradas en el proyecto.

2.2 BASE TEÓRICA

2.2.1 Teoría de la Investigación

La porosidad de un material representa un porcentaje que relaciona el volumen que ocupan los poros en un volumen unitario de roca; el otro porcentaje son partículas sólidas. Pero no nos habla de cómo están de conectados los poros, para ello recurrimos a la porosidad eficaz, que se refiere a la porosidad representada por

aquellos espacios por los que puede circular el agua, es decir aquellos que están comunicados. Por tanto, la segunda siempre será mejor que la primera.

La permeabilidad de un material es la capacidad que este tiene de transmitir un fluido, en este caso agua. Un material será más permeable cuando sea poroso y estos poros sean de gran tamaño y estén conectados.

Los materiales detríticos tienen siempre una porosidad elevada adquirida en el mismo proceso de sedimentación, siendo mayor en los depósitos arcillosos que en los de mayor tamaño de grano (arenas y gravas), en los primeros puede llegar a ser de 50% si no están compactados. Sin embargo los poros de las arcillas son de tan pequeño tamaño que el agua circula muy lentamente a través de ellos por ello su permeabilidad es muy baja.

2.2.2 Ciclo Hidrológico

Se trata de un proceso que se encarga de describir la circulación del agua entre los diferentes elementos de la hidrosfera, en donde el agua gracias a una serie de reacciones físico-química puede pasar de un estado sólido, líquido y gaseoso, a esto se le denomina ciclo hidrológico. Ya que el agua es uno de los pocos elementos existentes en el planeta tierra que tiene esa capacidad, el vital líquido como es conocido se puede encontrar en el cielo en la tierra y en mayor cantidad en los mares y ríos (Drever, 1997).

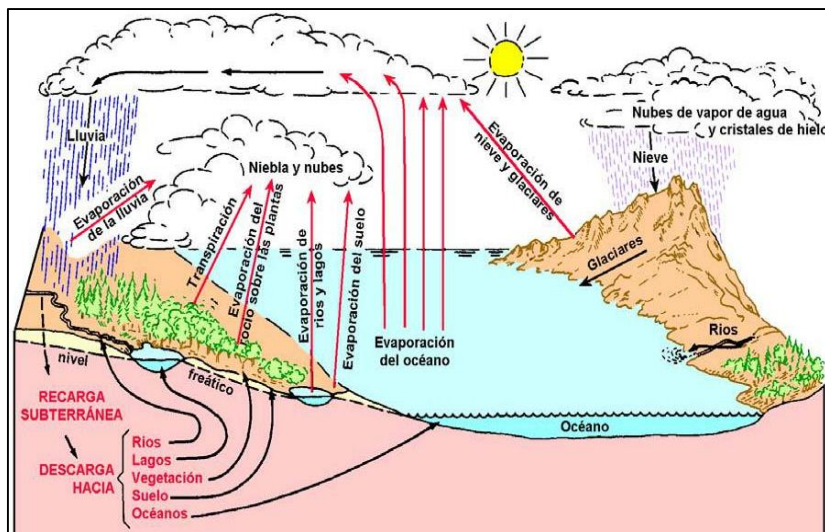


Figura N° 01: Ciclo Hidrológico del Agua (Drever, 1997).

2.2.3 Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es *permeable* si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e *impermeable* si la cantidad de fluido es despreciable. La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

La porosidad del material;

La densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura;

La presión a que está sometido el fluido.

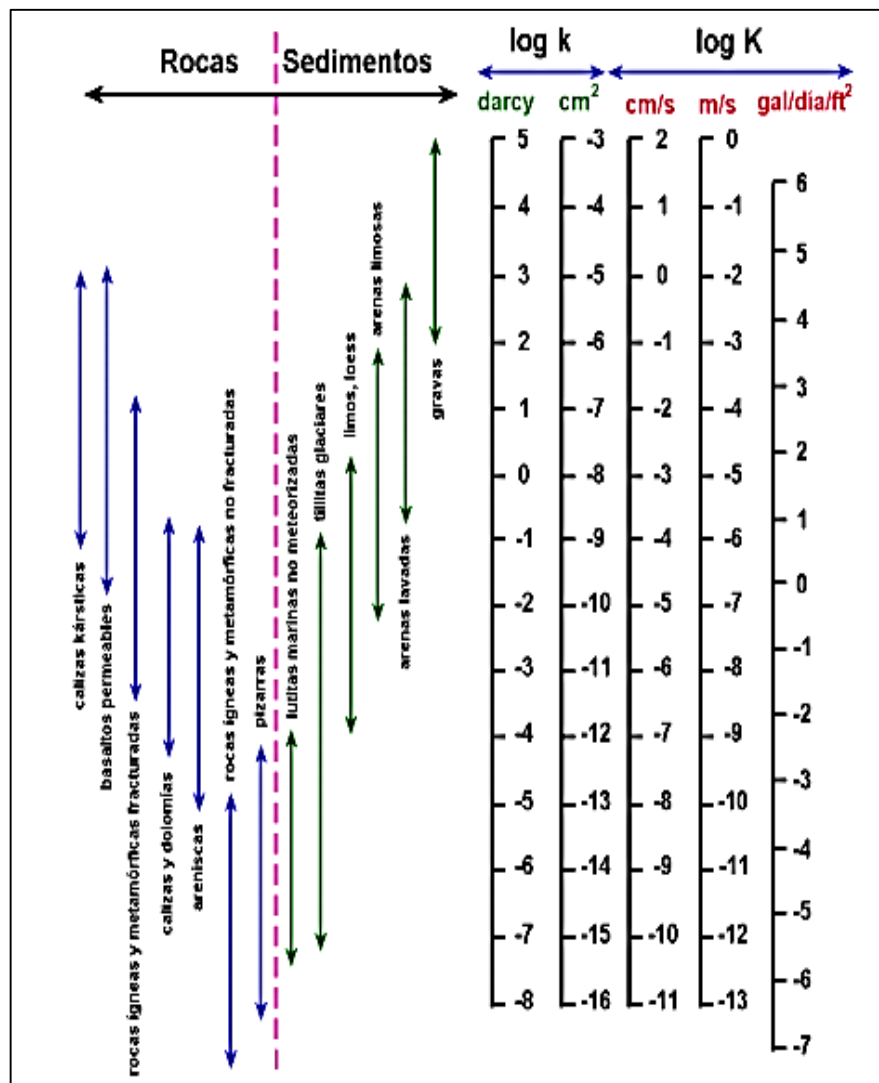


Figura N° 02: Logaritmo de permeabilidades en rocas y sedimentos (Freeze y Cherry, 1979).

a) Permeabilidad en Suelos

En proyectos de ingeniería, las unidades con las que se expresa generalmente el coeficiente de permeabilidad son cm/s y m/s; en los ámbitos de la hidráulica o la hidrogeología es habitual observar notaciones como cm/día, m/año y similares.

Son diversos los factores que determinan la permeabilidad del suelo, entre los cuales, los más significativos son los siguientes:

- Granulometría (tamaño de grano y distribución granulométrica.)
- Composición química del material (naturaleza mineralógica)

Como regla general podemos considerar que, a menor tamaño de grano, menor permeabilidad, y para una granulometría semejante (arenas, por ejemplo) a mejor gradación, mayor permeabilidad (Freeze y Cherry, 1979).

Tipo de suelo	k_z (m/s)
Grava limpia	$> 10^{-2}$
Arena limpia y mezcla de grava y arena limpia	$10^{-2} - 10^{-5}$
Arena fina, limo, mezclas de arenas, limos y arcillas	$10^{-5} - 10^{-9}$
Arcilla	$< 10^{-9}$

Figura N° 03: Coeficiente de Permeabilidad en Suelos (Terzaghi y Peck, 1980).

b) Permeabilidad en Rocas

Se define como la capacidad de la roca para permitir el flujo de fluido a través de los espacios porales, La permeabilidad de las rocas intactas es, en general, muy baja y, por tanto, es de esperar que su capacidad para drenar el agua sea muy baja. Sin embargo, si la roca es discontinua como resultado de la existencia de diversos tipos de familias de juntas, su permeabilidad puede ser considerablemente mayor dado que actuarán como canales preferentes de flujo (Snow, 1968).

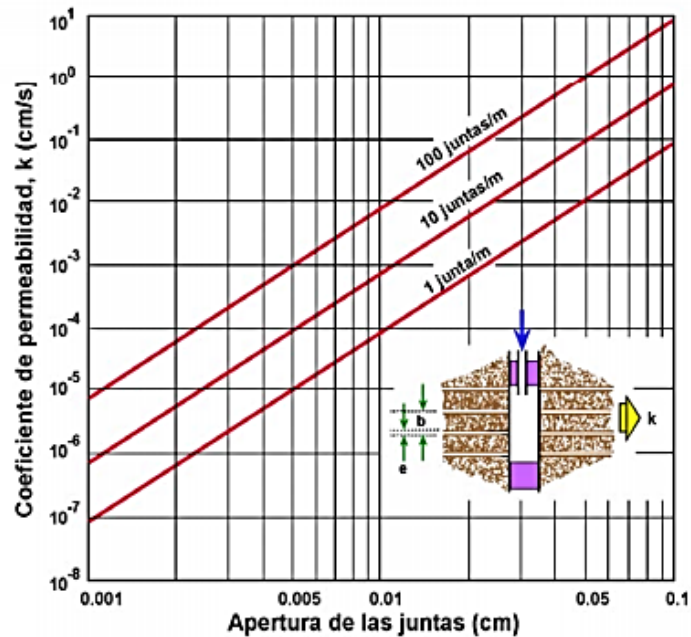


Figura N° 04: Coeficiente de Permeabilidad en Rocas (Hoek y Bray, 1981).

Existen tres tipos de permeabilidad en las rocas:

- **Permeabilidad Absoluta:** Es la conductividad de las rocas a los fluidos o la facultad que la roca posee para permitir que los fluidos se muevan a través de la red de poros interconectados, este valor de permeabilidad es arrojado cuando un fluido homogéneo satura una muestra 100% (Snow, 1968).

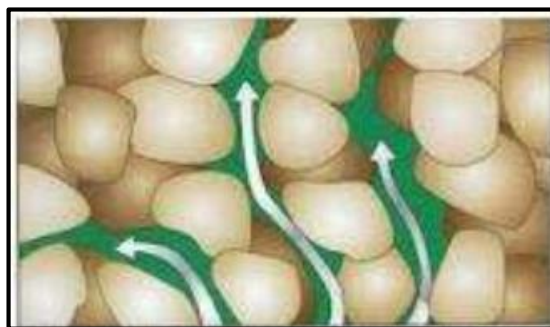


Figura N° 05: Permeabilidad Absoluta (Snow, 1968).

- **Permeabilidad Efectiva:** Es la conductividad al medio poroso de un fluido en un estado determinado de saturación, presenta dos fases. En este caso, cada fase o fluido tendrá canales de flujo y la roca presentará una permeabilidad efectiva hacia ese fluido. Es obvio que la presencia de varias fases de fluidos dentro de un medio poroso reduce la capacidad de flujo al fluido de prueba. (Snow, 1968).

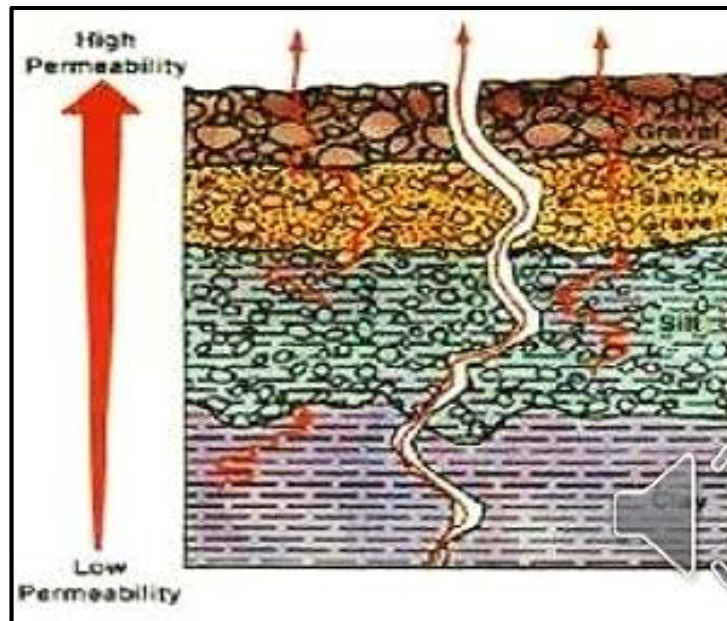


Figura N° 06: Permeabilidad Efectiva (Snow, 1968).

- **Permeabilidad Relativa:** es la relación o razón entre la permeabilidad efectiva y la permeabilidad específica o absoluta y se expresa de forma fraccional. Al obtener los valores de permeabilidad efectiva a cada fluido, éstas siempre serán menores al valor de la permeabilidad efectiva. Por lo tanto, existirán tantas permeabilidades relativas como fases coexistan en la roca. (Snow, 1968).

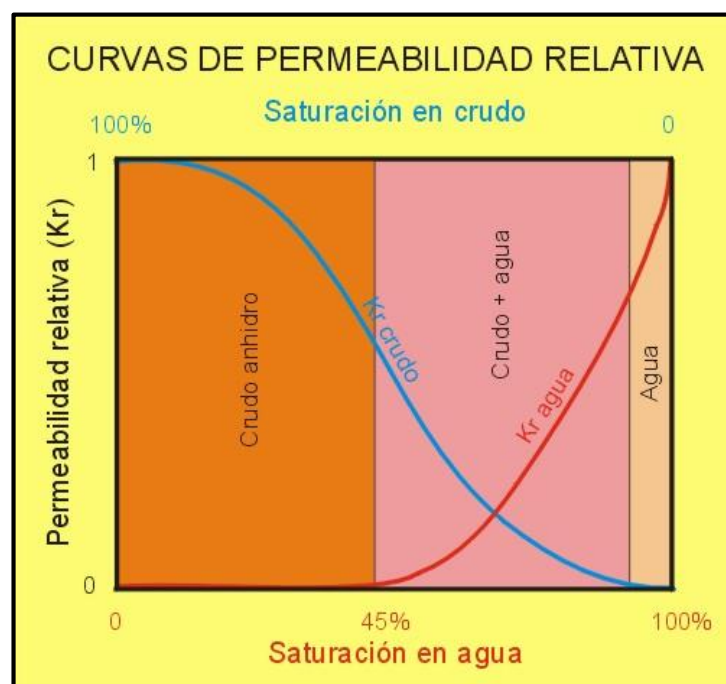


Figura N° 07: Permeabilidad Relativa (Snow, 1968).

2.2.4 Perforaciones Orientadas

La determinación de la orientación en espacio real (original en el terreno) de cualquier testigo de perforación por lo general requiere conocer primero la orientación (inclinación y dirección) de la perforación en ese punto, y segundo una característica conocida de referencia que fije la orientación del testigo con respecto a la rotación de su eje.

El testigo de perforación para el cual se conoce únicamente la orientación de la perforación se denomina orientado. El testigo para el para el cual se conoce también la posición original inferior (o superior) se denomina testigo plenamente orientado (Johnston, 1985).

➤ Definición de Core Orientado

Consiste en identificar el punto más bajo (marca inferior) en la cara superior de lo que será la próxima ejecución del núcleo. Después se extrae el núcleo, se vuelve a montar exactamente en la medida de lo posible y la marca inferior es utilizando para subtender una línea de orientación a lo largo del núcleo (conocida como la marca de orientación). Esta línea se utiliza para orientar todas las otras características en el núcleo.

La orientación de testigos está basada en una serie de definiciones de ángulos que caracterizan posiciones espaciales y convenciones para medir dichos ángulos en las estructuras presentes. (Johnston, 1985).



Fotografía N° 01: Orientación de testigos en Perforaciones.

Los resultados obtenidos ayudan en el mapeo de testigos y permiten la producción de proyecciones estereográficas de las orientaciones de las estructuras geológicas, las cuales pueden ser eventualmente utilizadas para generar un modelo geológico-estructural para el área que está siendo explorada. (Johnston, 1985)

➤ **Medición del Angulo Alfa**

Ángulo agudo entre el eje del núcleo y el eje largo de la elipse (0° - 90°), es decir es el ángulo entre el plano de discontinuidad y el eje del testigo, puede ser medido por el goniómetro o el protactor (Marjoribanks, 1997).



Fotografía N° 02: Medición del Ángulo Alfa.

➤ **Medición del Angulo Beta**

Es el ángulo entre una línea de referencia a lo largo del núcleo y la traza apical de la elipse, (0° - 360°), es decir es el ángulo alrededor del testigo, medido en sentido horario desde la línea de referencia hasta la línea de máxima pendiente de la discontinuidad, usando un protactor lineal (Marjoribanks, 1997).



Fotografía N°03: Medición del Ángulo Beta.

➤ **Medición de la Orientación de Testigos**

La medición de la orientación de los testigos de perforaciones orientadas se realiza con el equipo REFLEX ACT II RD, mediante la extensión de un tubo exterior que sirve para compensar el incremento de la longitud del tubo interior al agregar la unidad de orientación en este.



Figura N° 08: Equipo REFLEX ACT II RD para perforaciones orientadas.

Se usa el Nivel en “V” que es la forma de la plantilla y el nivel de burbuja nos asegura una marca exacta en la parte inferior del testigo, este se utiliza antes de retirar el controlador del ACT II RD, donde se debe transferir la al testigo la orientación del fondo de la perforación, para lo cual se puede utilizar el método de marcación Inferior o Superior.



Figura N° 09: Medición de core en Nivel en “V” (Reflex, 2012)

➤ **Consideración de Tabla de Conversión**

La tabla considera para la medición del ángulo Beta, una línea de referencia en la parte superior, contrario al marcado del punto inferior con el equipo orientador REFLEX ACT II RD.

Por este motivo se le agrega los 180° que tiene como diferencia entre estas dos líneas.

Si por el contrario la línea de referencia se traza con el equipo orientador desde un inicio en la parte superior, no haría falta agregar los 180°.

2.2.5 Ensayo de Permeabilidad Tipo Lugeon

Fue desarrollado en la era de la construcción de diques y túneles, y ha sido mejorado durante los años para proporcionar un enfoque confiable para evaluación de permeabilidad de roca. Un típico ensayo de lugeon es conducido al instalar un packer inflable en un pozo simple y conducir una serie de pasos breves de inyección de presión constante, de aproximadamente 10 minutos, registrando la velocidad de flujo de inyección final. El análisis es llevado a cabo al trazar en un gráfico la presión de inyección versus la velocidad de flujo.

El método Lugeon ha probado ser efectivo para el diseño de inyección de lechada e imita ampliamente las condiciones bajo las cuales ocurre la inyección. Sin

embargo, evaluaciones en el sitio de la mina requieren parámetros hidrogeológicos para aplicaciones a escala mucho mayor tales como planificación minera y modelo de agua en suelo. Predecir el flujo de agua subterránea es una escala local o regional requiere conocimiento de parámetros que incluyan presión de formación estática, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, y geometría de flujo. Mientras la determinación efectiva del coeficiente de almacenamiento requiere pruebas en pozos múltiples, los otros tres parámetros pueden ser caracterizados usando ensayos de pozos simples que evalúan el flujo transitorio y la presión responde durante la prueba. Mejoras recientes en herramientas de pruebas y análisis hacen viable llevar a cabo pruebas de mayor nivel a sitios remotos (Lugeon, (1933).

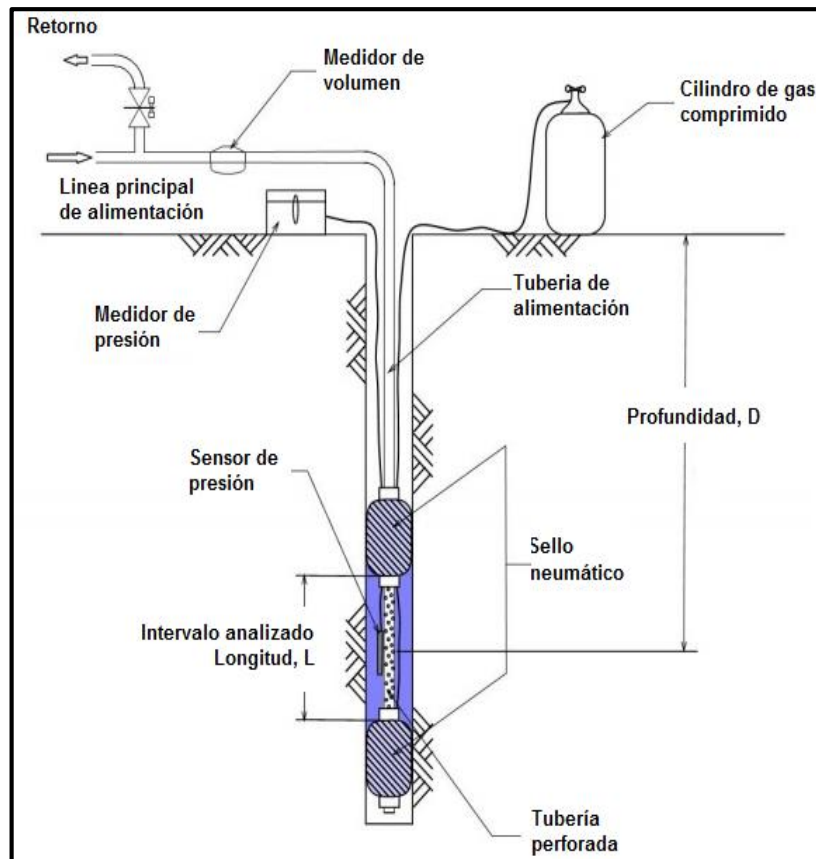


Figura N° 10: Procedimiento del Ensayo de Lugeon (Lugeon, 1933)

Con el ensayo de Lugeon se puede determinar el flujo que presenta las aguas subterráneas.

- **Flujo Laminar:** Los valores de absorción y presión efectiva guardan relación lineal. Es decir que la absorción es proporcional a la presión efectiva. Este hecho

se debe a que las fracturas son finas y se entiende que el relleno es granular y consecuentemente, el consumo por fractura es aproximadamente igual.

- **Flujo Turbulento:** la absorción correspondiente a la presión máxima es relativamente menor que la de la presión intermedia y mínima, esto responde a que las fracturas son de diferente grosor.
- **Flujo Dilatación:** En este caso, cuando la roca es sometida a la presión máxima, hay una dilatación temporal de la abertura o se comprime momentáneamente el relleno por efecto de la presión de agua, entonces, la absorción para este estadio es sensiblemente mayor que en los otros, es un pronóstico reversible y la abertura se comporta de forma "elástica".
- **Flujo Erosión:** El material fino de relleno de las fracturas es lavada por el agua de ensayo incrementándose el volumen útil de poros o de fisuras en el tramo del macizo rocoso ensayado, por ello, la absorción se incrementa relativamente con el tiempo. En este caso la curva absorción-presión efectiva se ensancha y las flechas apuntarán en sentido horario.
- **Flujo Relleno:** Por efecto de la sedimentación de los finos que pudiera transportar el agua del ensayo o bien del mismo material erosionado y re depositado del relleno de fractura, las aberturas se cierran o taponan a medida que transcurre el ensayo; la absorción consecuentemente decrecerá en función del tiempo. También en este caso la curva absorción – presión efectiva se ensancha, pero las flechas apuntaran en sentido anti horario, otro factor atribuido se debe a la resistencia capilar de penetración del agua en fracturas finas (Lugeon, 1933).

PATRONES DE RESULTADOS DE PRUEBAS LUGEON						
Tipo de Flujo	Etapas	Patrones Lugeon	Interpretación de Patrones	Valor a Usar	Interpretación	Curva de interpretación
Flujo Laminar	1º 2º 3º 4º 5º		Los 5 valores Lugeon son aproximadamente iguales	Se usa el promedio de los 5 valores	Fracturas finas aproximadamente iguales, existe una relación lineal similar. Fracturas finas y relleno granular, esta asociado a valores menores de 3 UL.	
Flujo Turbulento	1º 2º 3º 4º 5º		El valor Lugeon mas bajo ocurre en la presión máxima.	Se usa el valor Lugeon para la presión máxima	La absorción a la máxima presión es relativamente menor que las presiones intermedias y mínimas. Se explica por fracturas de diferente grosor, esta asociada a valores mayores de 4 UL.	
Flujo Dilatación	1º 2º 3º 4º 5º		El valor Lugeon mas alto ocurre en la presión máxima	Se usa el valor Lugeon para las presiones mínimas y medias.	A presión máxima hay una dilatación temporal de la abertura y se comprime momentáneamente el relleno por efectos de la presión de agua y la absorción es mayor, el proceso es reversible y las fracturas serán elásticas.	
Flujo Erosión	1º 2º 3º 4º 5º		Los valores Lugeon aumentan en el proceso de la prueba (por cambios en el medio rocoso)	Se usa el valor lugeon mas alto	El material fino de las fracturas es lavado, la absorción se incrementa con el tiempo, las flechas son en sentido horario	
Flujo relleno	1º 2º 3º 4º 5º		Los lugeones decrecen en el proceso de la prueba (los vacíos son gradualmente rellenos)	se usa el valor Lugeon mas bajo	Por aberturas son gradualmente rellenas y selladas a medida que transcurre el ensayo, la absorción decrece en función al tiempo en sentido antihorario. La disminución se debe a la resistencia capilar de penetración de agua en fracturas finas.	

<p>CLASIFICACIÓN DEL VALOR LUGEON REPRESENTATIVO</p> <p>0 - 1 : U.L. MUY FAVORABLE 0 - 3 : U.L. FAVORABLE 3 - 10 : U.L. DESFAVORABLE > 10 : U.L. MUY DESFAVORABLE</p>	<p>EQUIVALENCIAS APROXIMADAS</p> <p>10⁻¹ : 6000 lts 10⁻² : 600 lts 10⁻³ : 60 lts 10⁻⁴ : 6 lts 10⁻⁵ : 0.6 lts 10⁻⁶ : 0.06 lts</p>	<p>U.L. : 1 x 10⁻⁴ cm/s U.L. : 1.67 x 10⁻⁵ cm/s U.L. : 1.30 x 10⁻⁵ cm/s</p>
--	--	--

Figura N° 11: Tipos de Flujo – Ensayo de Lugeon (KP Consultores – 2012)

➤ **Avances en los Equipos para ensayos de Lugeon**

La información de prueba de pozos simples puede ser mejorada significativamente al incorporar las siguientes mejoras técnicas en el sistema de prueba:

- 1) Capacidad de cierre del pozo
- 2) Medición de presión del pozo
- 3) Adquisición electrónica de la información de la velocidad de flujo de superficie.

Los ítems anteriores han sido aceptados por mucho tiempo como equipos estándares en otras aplicaciones. El cierre del pozo reduce considerablemente la cantidad de tiempo requerido para alcanzar o aproximarse a la presión de formación estática porque reduce de manera efectiva el almacenaje del pozo. Combinado con un transductor de presión con registro de datos del pozo, una válvula de cierre en el pozo (DHSIV) permite la incorporación simple de un periodo de recuperación de

presión antes a y/o después de la prueba de inyección. La adquisición electrónica de la velocidad de flujo provee información de flujo transitorio que puede ser analizada de varias maneras y permite el análisis de un ensayo de presión constante incluso cuando la presión es variable, como usualmente ocurre. Como se demuestra en la sección de análisis a continuación, los periodos de recuperación de presión, el análisis transitorio, y la medición de la presión en el pozo aumentan significativamente el alcance y solidez de los resultados de pruebas hidrogeológicas.

Equipos mineros para pruebas en pozos de recuperación de testigo han sido mejorados durante los años recientes para incorporar los aspectos antes descritos de programas de prueba hidrogeológicos más rigurosos, mientras mantienen flexibilidad y la pequeña huella de sistemas de packer con cable tradicionales. Los sistemas de packer inflados hidráulicamente que utilizan barras de perforación para inflar el packer en lugar de nitrógeno o aire comprimido en una línea de control separada han aumentado los límites de profundidad de las pruebas en terreno, haciendo que las pruebas hidrogeológicas detalladas sean significativamente más asequibles en sitios remotos. Algunos sistemas son equipados con válvulas de cierre del pozo activadas con barras de perforación que aíslan el intervalo de prueba para una determinación rápida de la presión de la formación estática y facilitan el rendimiento de una prueba de recuperación de presión seguido del periodo de inyección.

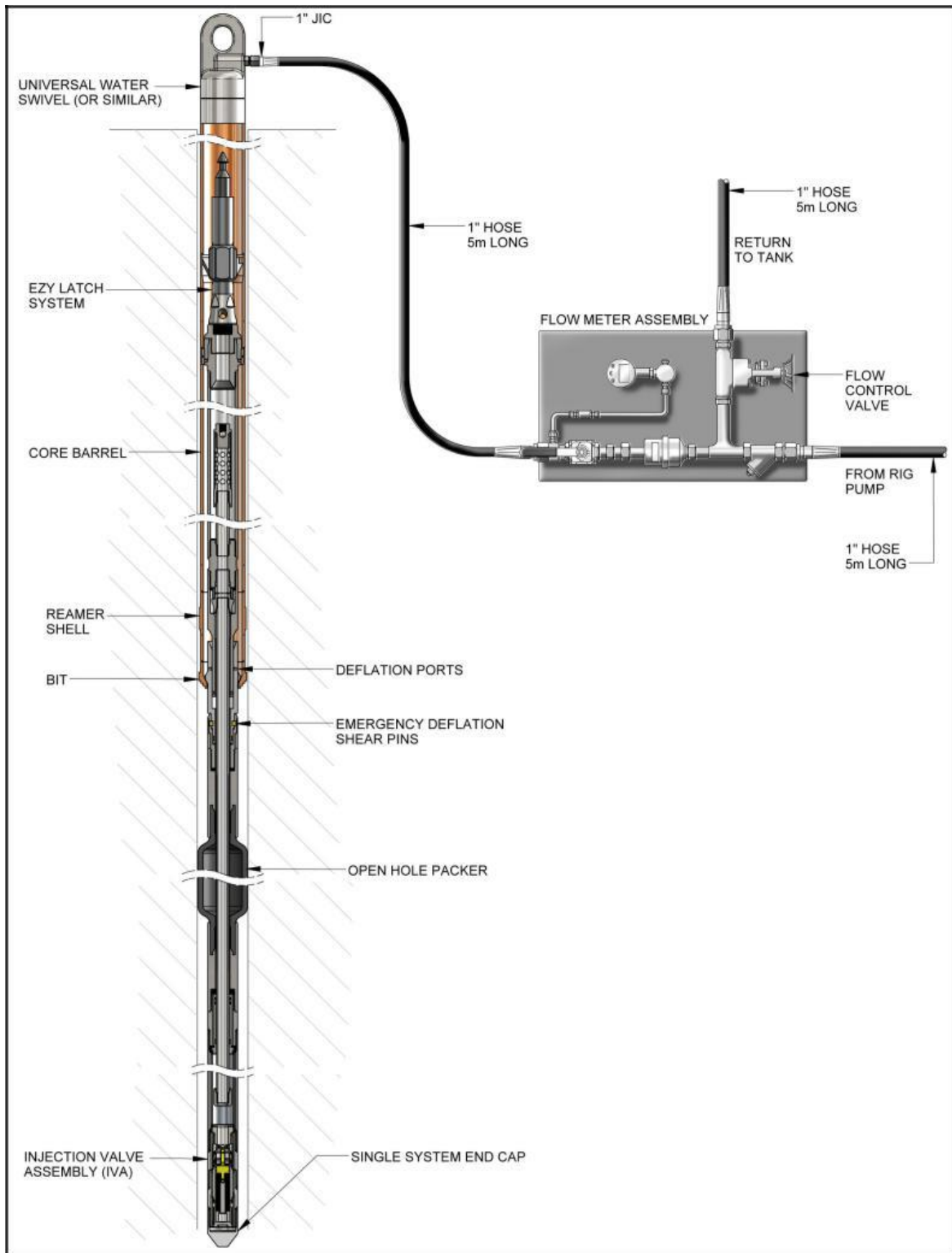


Figura N° 12: Ensayo de Lugeon con el equipo SWiPS (IPI / Joel Adams, Randall Roberts – 2012)

Donde:

Universal Water Swivel (or similar)	Llave de agua universal (o similar)
Ezy-latch System	Sistema Ezy-latch
Core Barrels	Coronas
Reamer Shell	Escariador
Bit	Broca
Injection Valve Assembly (IVA)	Sistema de Válvula de Inyección (IVA)
1" JLC	
Deflation Ports	Puertos de desinflado
Emergency Deflation Shear Pins	Pasadores de Corte de desinflado de emergencia
Open Hole Packer	Packer de perforación abierta
Single System End Cap	Cierre del Sistema Simple
1" Hose 5mm Long	Manguera de 1" de 5mm de largo
Return to Tank	Retorno al tanque
Flow Meter Assembly	Sistema de Medición de Flujo
Flow Control Valve	Válvula de Control de Flujo
From Rig Pump	Desde la Bomba de la Torre de Perforación

2.2.6 Sistema SWiPS – Obturador Estándar con Cable

Está diseñado para ensayos de permeabilidad de roca en perforaciones con cable NQ, HQ y PQ. Los packers son inflados hidráulicamente a través de la sarta de perforación, eliminando la necesidad de botellas de gas de alta presión y líneas de inflado. Este sistema es potencialmente adaptable para ajustarse a otros sistemas.

El ensayo de Lugeon con el Sistema SWiPS consiste en la inyección de agua a presión, en tramos aislados de la perforación orientada, la presión que se usa en la etapa de saturación del terreno es la mínima, es recomendable una presión 0.15 kg/cm² por metro lineal de profundidad en intervalo de 2.20 a 20.00 m.

Los factores condicionantes y que fueron tomados en cuenta durante la ejecución de los ensayos de Lugeon para la determinación de las presiones y tramo son:

- Profundidad del tramo del ensayo
- Grado de Fracturamiento de la roca
- Porcentaje de recuperación de testigos
- Litología de la roca
- Características geomecánicas de la roca
- Condiciones para la obturación del tramo de ensayo.

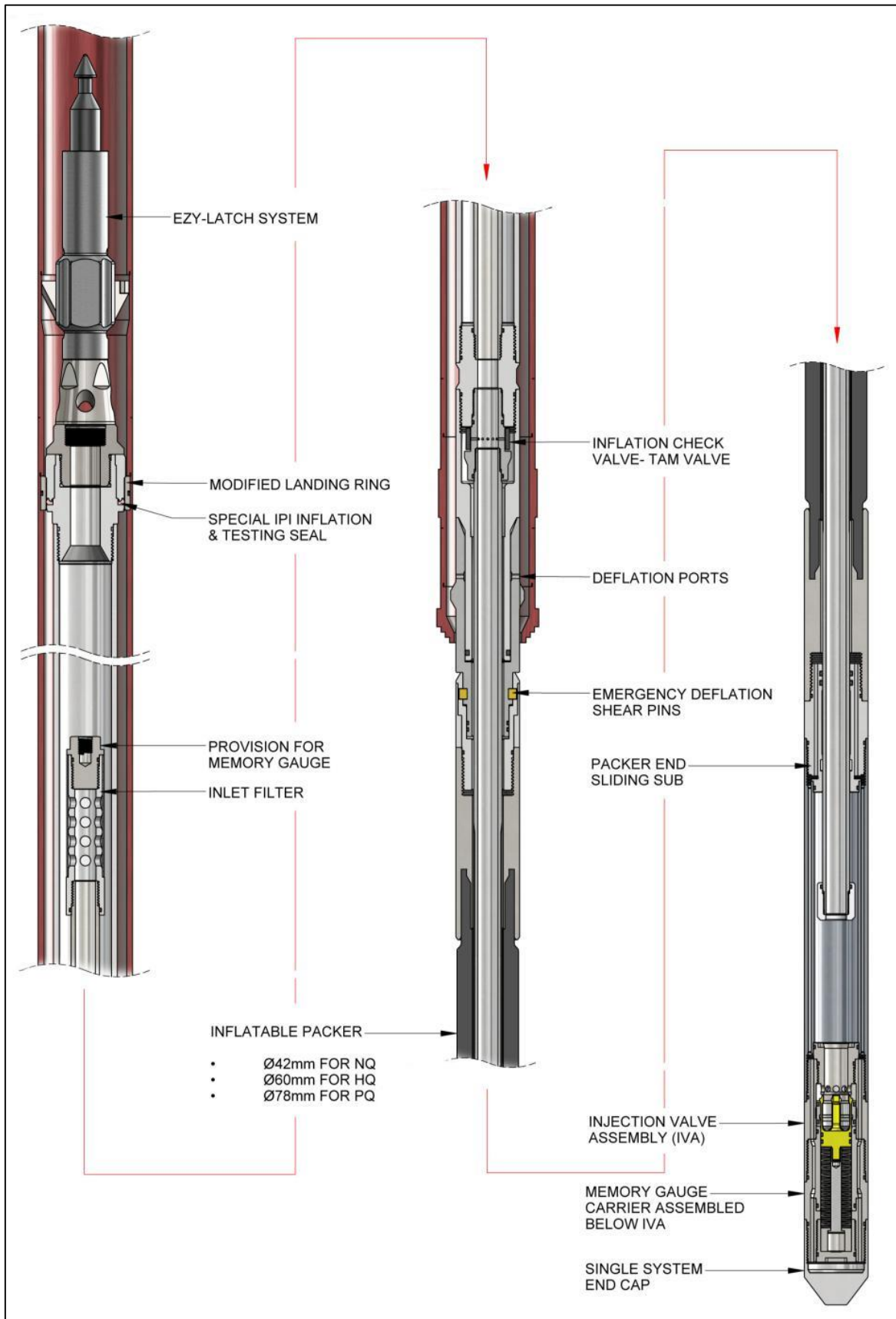


Figura N° 13: Equipo SWiPS (IPI / Joel Adams, Randall Roberts – 2012)

Donde:

Ezy-latch System	Sistema Ezy-Latch
Modified Landing Ring	Anillo de Tope modificado
Special IPI Inflation & Testing Seal	Sello especial de IPI de Inflado y Prueba
Provision for Memory Gauge	Cámara para la Memoria de Registro de Datos
Inlet Filter	Filtro de entrada
Inflation Check Valve-Tam Valve	Válvula de Revisión de Inflado – Válvula Tam
Deflation Ports	Puertos de Desinflado
Emergency Deflation Shear Pins	Pasadores de Corte de Desinflado de Emergencia
Packer end sliding sub	Módulo de deslizamiento del extremo del packer
Injection Valve Assembly (IVA)	Sistema de Válvula de Inyección (IVA)
Memory Gauge Carrier Assembled Below IVA	Cámara para memoria de registro de datos ubicada bajo IVA
Single System End Cap	Extremo de cierre del sistema simple
Inflatable Packer	Packer Inflable
Ø42mm For NQ	Ø42mm para NQ
Ø60mm For HQ	Ø60mm para HQ
Ø78mm For PQ	Ø78mm para PQ

2.2.7 Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico

El agua subterránea se mueve frente a la presencia de gradientes hidráulicos, desde las zonas de mayor a menor energía o potencial. Puesto que el agua subterránea encuentra muchos obstáculos para su avance en cualquier medio geológico, las velocidades a las que se mueve son muy bajas y, por ello, el tiempo de residencia (es decir, el tiempo necesario para renovar completamente el agua en un reservorio determinado) puede llegar a ser muy prolongado. En última instancia, las características del medio geológico condicionarán la velocidad a la que se desplazará el agua: desde mm al día a decenas o incluso centenares de metros (en macizos kársticos).

- **Acuífero:** Unidad geológica saturada que puede transmitir y almacenar una cierta cantidad de agua bajo la acción de gradientes hidráulicos normales. Ejemplo típico de ellos son las formaciones arenosas o de gravas y los macizos cristalinos fracturados.
- **Acuífugo:** Unidad geológica que ni almacena agua ni la transmite, de acuerdo con su baja permeabilidad y porosidad. Ejemplos de ellas son las formaciones de

rocas ígneas poco fracturadas (con mala conectividad entre las fracturas) o las sedimentarias cementadas.

- **Acuicludo:** Unidad geológica que, de acuerdo con su extremadamente baja permeabilidad (pese a tener una cierta porosidad y, por tanto, ser susceptible de almacenar una cierta cantidad de agua) no transmite prácticamente el agua. Dentro de este grupo se encuentran sobre todo las pizarras y arcillas.

- **Acuitardo:** Unidad geológica susceptible de almacenar agua, incluso en grandes cantidades, pero que la transmite muy lentamente. Suelen poseer una elevada porosidad, pero una baja permeabilidad. Ejemplo de este tipo de material lo constituyen los limos, las arcillas limosas y arenosas.

a) Zonas de un acuífero

Se pueden definir tres zonas: zona de alimentación o recarga, zona de circulación y zona de descarga.

- **La zona de alimentación:** es aquella donde el agua de precipitación se infiltra.
- **La zona de descarga:** es la zona donde el agua sale del acuífero, como puede ser un manantial o la descarga al mar o a un río.
- **La zona de circulación:** es la parte comprendida entre la zona de alimentación y la zona de descarga.

b) Tipos de acuíferos según su estructura

La geometría y disposición de los distintos tipos de formaciones geológicas (de acuerdo con su clasificación según los términos anteriores) condiciona la existencia de distintos tipos de acuíferos:

➤ **Acuíferos Libres:** La superficie del agua es una superficie libre, o nivel freático, que está en contacto con la atmósfera a la presión de ésta, por encima de la cual se sitúa la zona no saturada que se encuentra a presión hidráulica inferior a la atmosférica (Drever, 1997).

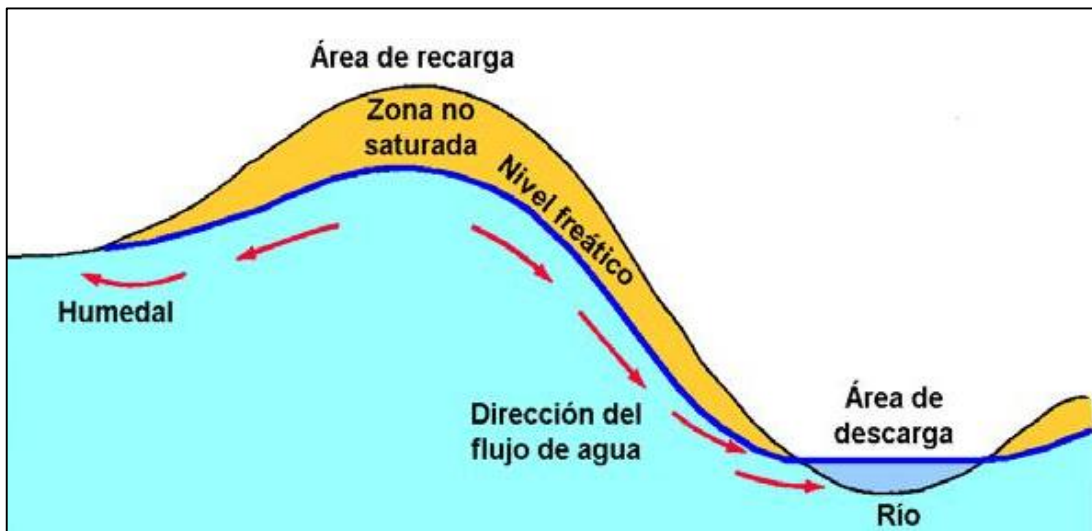


Figura N° 14: Acuífero no confinado (Drever, 1997)

➤ **Acuíferos Confinados:** El acuífero está limitado por niveles de baja permeabilidad, ya sean estos acuicludos o acuífugos. La presión hidráulica dentro de dichos acuíferos es mayor que la atmosférica en todos sus puntos y si se perfora un pozo a través de la formación confinante superior hasta alcanzar el acuífero, el agua del mismo ascenderá hasta alcanzar un nivel equivalente al del freático en ese punto. Si el agua del acuífero sube más allá de la superficie del terreno, esta manará libremente hasta una cierta altura y el pozo así generado se denomina pozo artesiano (Drever, 1997).

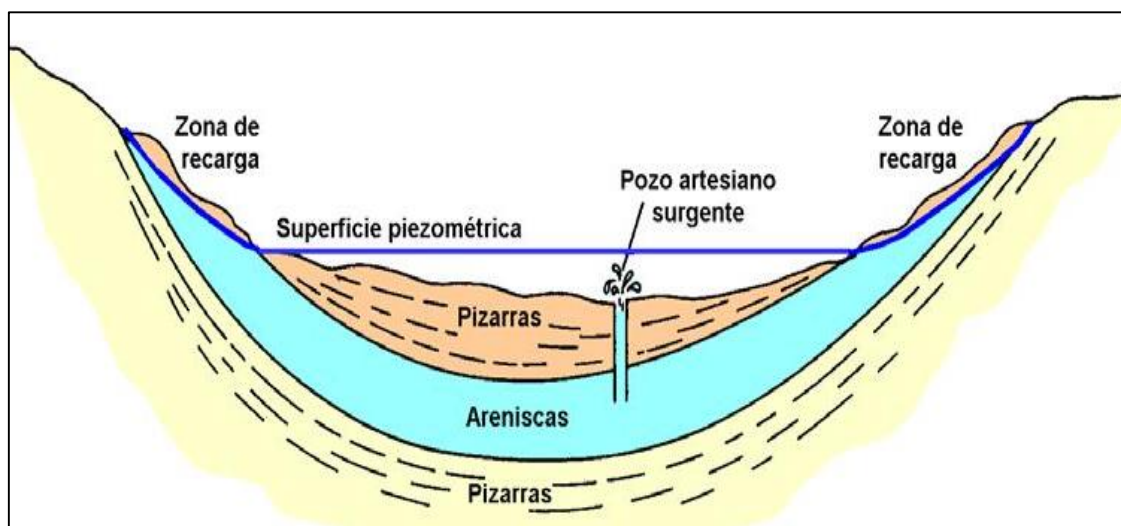


Figura N° 15: Acuífero confinado y pozo artesiano (Drever, 1997).

- **Acuíferos Semiconfinados:** El acuífero está limitado por acuitardos, lo cual permite una cierta comunicación hidráulica entre dos acuíferos distintos (Drever, 1997).

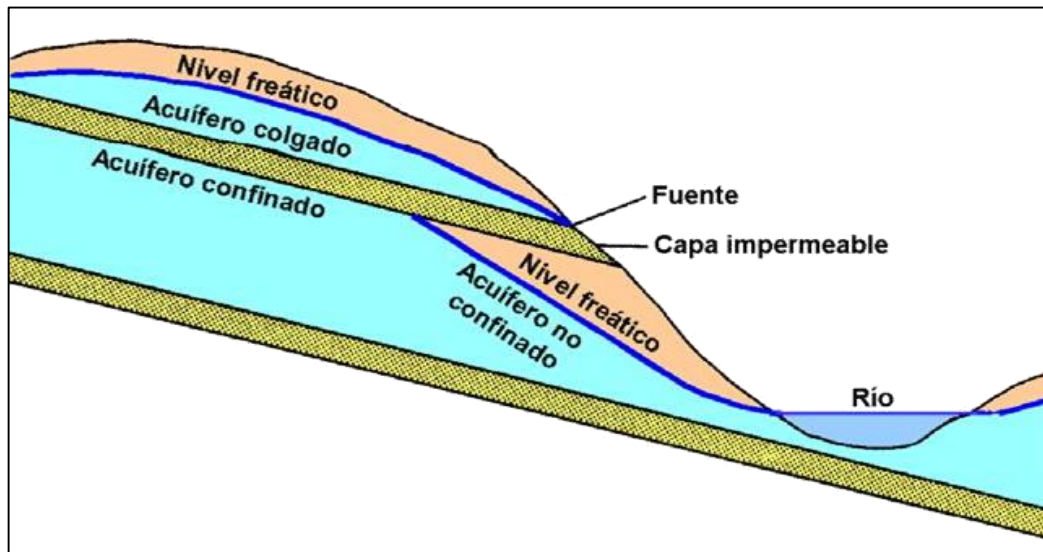


Figura N° 16: Acuífero confinado por acuitardos y acuífero colgado (Drever, 1997).

c) **Características Geológicas Generales de los Acuíferos**

No todas las formaciones geológicas poseen la misma facilidad para transmitir y proporcionar agua en cantidades apreciables económicamente.

Según Jacob Todd (1959) el 90% de los acuíferos en explotación en el mundo, están formados por depósitos no consolidados de materiales sueltos, tales como arenas, gravas, etc., pudiendo ser su origen geológico muy distinto: Fluvial, como los que forman los materiales aluviales de los ríos o las terrazas de los mismos; deltaico, si se trata de depósitos acumulados en la desembocadura de los ríos; depósitos sedimentarios ocasionados por la acumulación de partículas transportadas por la gravedad (piedemonte), viento (dunas y/o loess), hielo (depósitos glaciares).

En las rocas volcánicas es difícil establecer una clasificación como almacenes de agua, respecto si constituyen o no buenos acuíferos, puesto que depende de las características físicas y químicas y de las propias rocas, y del tipo de erupción que las originó, del grado de alteración y edad.

Finalmente, en las rocas ígneas y metamórficas (granitos, dioritas, gabros, pizarras y esquistos) las únicas posibilidades de formar buenos acuíferos residen en la zona alterada superficial, o en las regiones muy fracturadas por fallas y diaclasas que permitan una apreciable circulación de agua; de todos modos, constituyen los peores acuíferos en cuanto a rendimiento en caudal. Cuando ambos tipos de rocas están poco o nada alterados pueden considerarse como acuífugos (Todd 1959).

2.2.8 Infiltración

Es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida por ella o alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente. Superada por la capacidad de campo del suelo, el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad.

La capacidad de un suelo determinado para absorber agua de lluvia aplicada al mismo en forma continuada y excesiva, decrece gradualmente a partir de un máximo al comienzo de la precipitación, hasta alcanzar un valor mínimo de infiltración, sensiblemente constante, por lo general dentro de un período no mayor a un par de horas. La ley de variación y la duración de tal decrecimiento son funciones del perfil del suelo (Aparicio, 1999)

a) Factores que afectan a la infiltración

➤ Condiciones de Superficie

Una superficie desnuda está expuesta al choque directo de las gotas de lluvia, que también da lugar a la compactación, lo que también disminuye la infiltración.

Cuando un suelo está cubierto de vegetación, las plantas protegen de la compactación por impacto de lluvia, se frena el recorrido superficial del agua que está, así, más tiempo expuesta a su posible infiltración, y las raíces de las plantas abren grietas en el suelo que facilitan la penetración del agua.

La pendiente del terreno influye en el sentido de mantener más o menos tiempo una lámina de agua de cierto espesor sobre él (Aparicio, 1999).

➤ **Características del terreno**

La estructura define el tamaño de los poros. La existencia de poros grandes reduce la tensión capilar, pero favorece directamente la entrada de agua.

El aire que llena los poros libres del suelo, tiene que ser desalojado por el agua para ocupar su lugar y esto suaviza la intensidad de la infiltración, hasta que es desalojado totalmente (Aparicio, 1999).

➤ **Condiciones ambientales**

La humedad inicial del suelo juega un importante papel. Cuando el suelo está seco al comienzo de la lluvia, se crea una fuerte capilaridad al humedecerse las capas superiores y este efecto, se suma al de gravedad incrementando la intensidad de infiltración. A medida que se humedece, se hinchan por hidratación, las arcillas y coloides y cierran las fracturas y grietas disminuyendo la capacidad de infiltración. Por otra parte, el agua que alcanza el nivel acuífero es el total de la infiltrada menos la retenida por el suelo (Aparicio, 1999).

2.2.9 Hidrogeología

El agua subterránea es uno de los componentes de la hidrosfera. El flujo subterráneo y sus procesos hidroquímicos asociados pertenecen al ciclo hidrológico, que depende de a) la estructura ecológico-geológica y b) la composición petrológica de la litosfera. Esto último influye en los procesos geoquímicos y en la composición hidroquímica del agua subterránea.

La mayoría de las aguas subterráneas son de origen meteórico, esto es, atmosférico. El agua de lluvia se infiltra directamente en el terreno o indirectamente a partir del flujo de entrada de agua superficial (almacenado en las márgenes de los ríos). Una muy pequeña parte del agua subterránea (agua joven) se origina a partir del magma procedente del interior de la Tierra.

➤ **Presencia de Agua Subterránea en las rocas**

También existe agua subterránea en los intersticios de las rocas, los que presentan varias formas, tamaños y orígenes. Los intersticios de la roca, en cuanto a caminos por los que pasa el flujo subterráneo y la circulación (acuífero), se clasifican en:

Poros, son los intersticios intergranulares que hay entre los granos de los sedimentos clásticos consolidados y no consolidados, o en las tobas volcánicas sueltas (Fig.17.1a),

Fisuras, son fracturas o grietas en las rocas (Fig.17.1b), y

Cavidades, presentes en las rocas carbonatadas (Fig.17.1c) y en los tubos de lava de las rocas volcánicas.

La distribución espacial de un acuífero controla la forma y el tipo de hidrodinámica del flujo, el tiempo de tránsito y el tiempo de residencia del agua subterránea. En las zonas fisuradas se forman caminos de flujo duales, que pueden contribuir substancialmente a la recarga de agua subterránea o interconectar acuíferos mediante acuitardos que gotean. La composición petrológica (litológica) del acuífero y la interfaz agua-roca controla las reacciones hidroquímicas de los componentes disueltos en el agua subterránea.

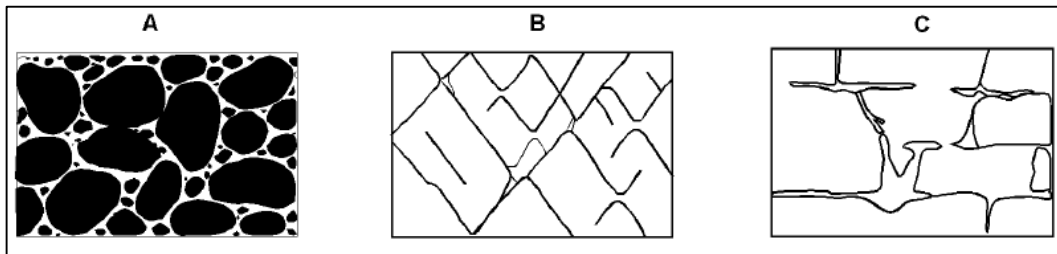


Figura N°17: Tipos de intersticios de las rocas (Odong, 2007).

a) Redes de Flujo

El flujo subterráneo en sistemas acuíferos extensos se puede representar mediante redes de flujo. En el espacio tridimensional, las líneas de flujo son perpendiculares a las superficies equipotenciales; en el caso 2-D las líneas de flujo son perpendiculares a las líneas equipotenciales y forman una red de flujo de rectángulos curvilíneos. A las líneas equipotenciales se las denomina isopiezas o hidroisohipsas.

La forma de las hidroisocronas (misma edad) de un acuífero es normalmente similar a la de las líneas piezométricas. No obstante, existen desviaciones sistemáticas que pueden reflejar anomalías espaciales del sistema del flujo subterráneo o perturbaciones geohidráulicas debido a la extracción del agua subterránea. Las líneas equipotenciales se desvían de las hidroisocronas en aquellas regiones donde las líneas equipotenciales son muy densas, es decir, el gradiente hidráulico es muy elevado y por consiguiente la velocidad del agua será más grande que en cualquier otro lugar. Esto también ocurre en el caso de que el flujo subterráneo actual sea diferente del flujo subterráneo pasado. Por ejemplo, si la edad del agua subterránea aumenta de forma rápida cuando se acerca al área de descarga, esto puede indicar que la tasa de recarga de agua subterránea aumentó en el pasado.

Las redes de flujo sólo son válidas cuando el flujo subterráneo se halla en el estado estacionario. Cualquier cambio en la situación geohidráulica modificará la red de flujo. Este hecho se ha de tener en cuenta, siempre y cuando los datos isotópicos de la recarga de agua subterránea del pasado hayan de relacionarse con la red de flujo actual, la cual también queda modificada por extracciones de agua subterránea.

Para construir una red de flujo generalmente se utilizan secciones verticales del sistema flujo subterráneo o proyecciones verticales sobre un plano horizontal (por ejemplo, para ilustrar el flujo subterráneo horizontal a escala regional en un mapa). En un medio rocoso homogéneo e isótropo, el nivel freático controla la forma de la red de flujo que, en las regiones húmedas con recarga directa de agua subterránea procedente de la precipitación generalmente se adapta a la morfología (Tóth, 1963).

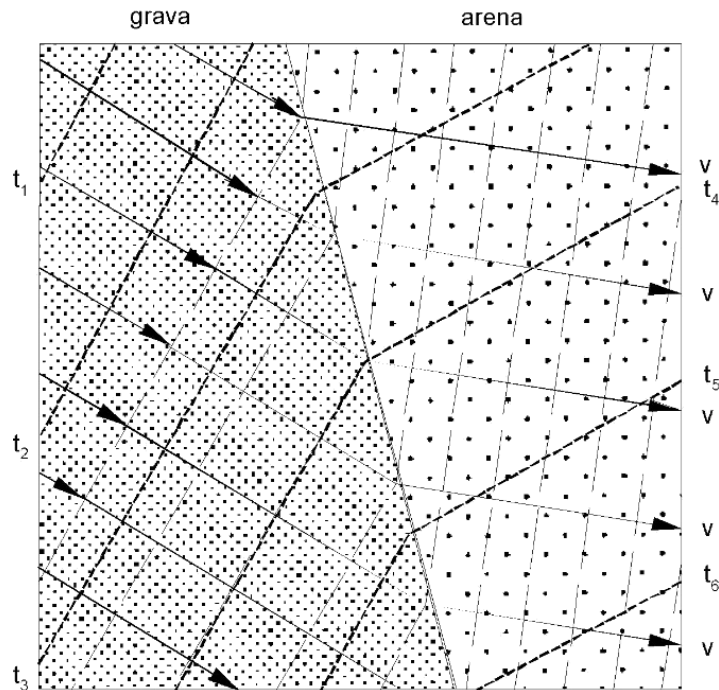


Figura N°18: Comportamiento del agua en los materiales (Seiler y Rodriguez, 1980).

Líneas equipotenciales (líneas con punteado largo), líneas de flujo (líneas con flechas) e hidroisocronas (líneas con punteado grueso t_1 a t_6) en el contorno y dentro de un acuífero con diferentes conductividades hidráulicas (según Seiler y Rodriguez 1980). Las líneas equipotenciales y las líneas de flujo son perpendiculares entre sí.

Tóth (1963) utilizó las redes de flujo para representar el flujo subterráneo a escala regional. Muchos sistemas de agua subterránea local poco profunda des-cansan sobre otros intermedios y más profundos a escala regional. Las líneas equipotenciales de un acuífero isótropo demuestran que el potencial hidrológico bajo depresiones superficiales decrece en sentido ascendente. Por lo tanto, tales depresiones des-cargan agua subterránea. En los piezómetros pro-fundos, la presión hidráulica en el fondo del pozo es mayor que la de la parte superior (flujo subterráneo ascendente), lo que no ha de estar necesariamente relacionado con la estratificación geológica de un sistema de acuíferos y acuitardos.

La conductividad hidráulica de los acuíferos es varios ordenes de magnitud mayor que la de los estratos confinados (acuitardos). De manera que para un determinado caudal la pérdida de carga a lo largo de una línea de flujo por unidad de distancia

es menor en un acuífero que en un acuitardo. Por lo tanto, el flujo lateral en los estratos confinados desde el punto de vista geohidráulico es despreciable, mientras que la composición isotópica se ve afectada por la contribución de larga duración del lento rezume que se produce en la recarga subterránea del acuífero confinado (Geyh et al. 1984). En los acuíferos las líneas de flujo se estrechan y son paralelas a los con-tornos del acuífero. Por este motivo, la red de flujo de un sistema acuífero anisótropo puede ser muy compleja. Como la red de flujo de agua subterránea viene controlada por la carga y la descarga, su forma será diferente si se trata de regiones áridas o húmedas (Tóth, 1963).

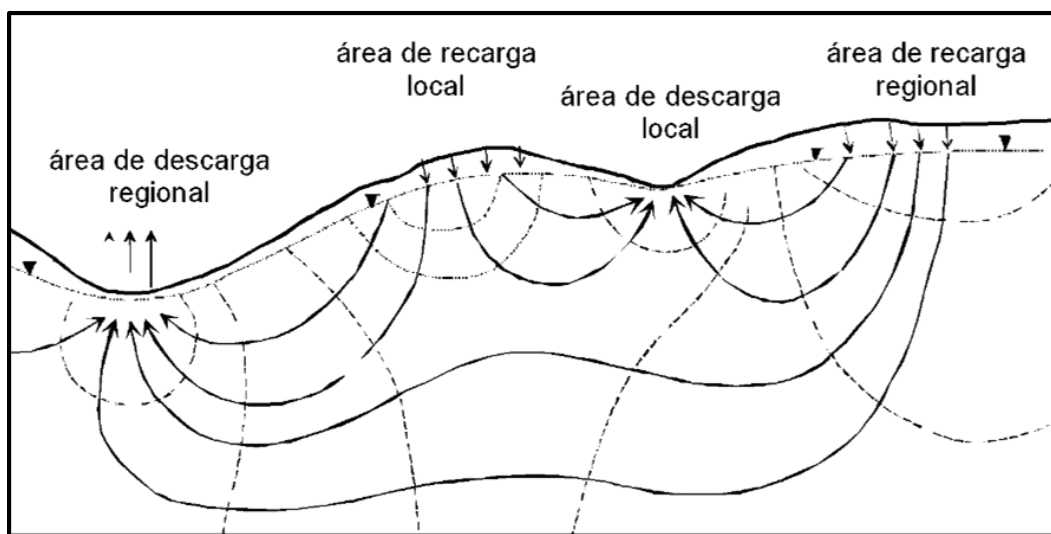


Figura N°19: Sección vertical de un flujo (Tóth, 1963).

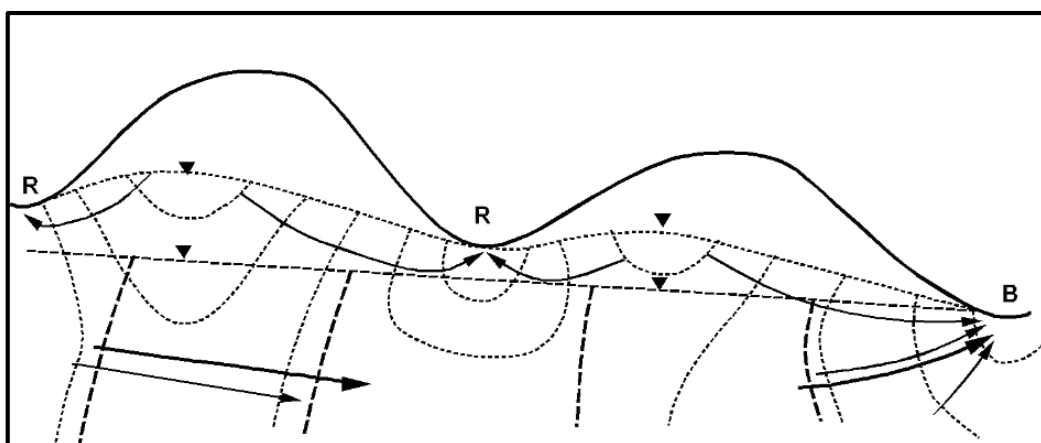


Figura N°20: Red de Flujo Subterráneo (Seiler y Rodriguez, 1980).

La representación de la red de flujo en forma de mapas hidrogeológicos refleja el flujo subterráneo a escala regional. Esto puede ayudar a resolver los problemas prácticos de la exploración y la explotación del agua subterránea. Esta representación es creíble solo en el caso de que se disponga de valores de los potenciales hidráulicos de un gran número de piezómetros del acuífero en cuestión. La modelación matemática puede facilitar la construcción de una red de flujo.

➤ **Propiedades Hidrogeológicas de las Rocas**

Las rocas se pueden clasificar según sus propiedades hidrogeológicas, geohidráulicas (almacenamiento de agua, permeabilidad hidráulica) y edafológicas (Brown,1981).

La ecuación de Darcy, solo es válida para un régimen de agua subterránea laminar, que se da en los acuíferos aproximadamente homogéneos e isotropos, por ejemplo, en los sedimentos clásticos (granulares) y en las rocas sedimentarias (arena, grava o arenisca). La distribución espacial de las fisuras en las rocas fisuradas es normalmente discreta, aunque a menudo una orientación espacial preferente puede provocar una permeabilidad anisótropa. Por este motivo la matriz rocosa solo puede ser considerada homogénea e isotropa a gran escala. En este caso los términos porosidad y permeabilidad hidráulica no se aplican de manera sencilla en los estudios geohidráulicos de los sistemas rocosos fisurados.

La permeabilidad de los sistemas fisurados refleja la historia geológica de las rocas, especialmente las exposiciones a tensiones tectónicas. Los procesos de meteorización y otros procesos geológicos pueden ocasionar cambios durante el pasado geológico. Los sistemas más jóvenes de fisuras de los últimos fenómenos tectónicos son a menudo más permeables que las más antiguas, las cuales pueden estar rellenas por minerales secundarios (Brown,1981).

El flujo subterráneo en las rocas karstificadas y en los tubos de lava no suele ser laminar; la distribución de las cavidades rocosas es aleatoria.

a) Rocas Ígneas

Las rocas ígneas (plutónicas y volcánicas) son permeables en las zonas donde las fisuras están abiertas. Normalmente el ancho de las fisuras y por lo tanto la permeabilidad decrecen con la profundidad.

Las rocas plutónicas duras (por ejemplo, el granito), que son ricas en cuarzo, son propensas a sufrir fisuración. Mediante meteorización mecánica éstas crean aluviones arenosos que son permeables en la superficie; mientras que las rocas pobres en cuarzo están sujetas a la meteorización química, generando así minerales arcillosos, que son menos permeables y a menudo obturan las fisuras de la roca subyacente.

Las rocas volcánicas habitualmente contienen fracturas que se originan a partir del enfriamiento de la lava. Durante el flujo de lava se crean zonas fracturadas permeables que se extienden horizontalmente, tanto en la superficie como en el fondo. Estas se convierten generalmente en acuíferos importantes y se localizan en los extensos sistemas de flujo de lava de las mesetas basálticas (Brown,1981).

b) Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas son normalmente permeables en la zona donde las fisuras están abiertas. Éstas se forman por meteorización a una cierta profundidad. Los gneis ácidos que contienen cuarzo (por ejemplo, el granito) están sujetos a meteorización, dando lugar a aluviones arenosos. Las calizas (carbonatos) metamórficas cristalinas son propensas a sufrir karstificación, de manera que suelen contener agua subterránea kárstica (Brown,1981).

c) Rocas Sedimentarias Consolidadas

Según sus propiedades hidrogeológicas, existe una gran variedad de rocas sedimentarias, y forman los acuíferos más importantes. Pueden presentar varios tipos de intersticios y poseen un rango muy grande de permeabilidad. La permeabilidad puede ser anisótropa, de modo que la modelación del flujo subterráneo regional y el movimiento de los contaminantes y trazadores es muy complicado. Cuando se está evaluando el flujo subterráneo y el movimiento de los

contaminantes y trazadores en dichos medios se debe considerar la doble porosidad (Brown,1981).

El flujo subterráneo en las rocas sedimentarias depende de la composición de la roca, la litología y las facies de la secuencia sedimentaria completa, esto es, del tamaño de grano y de la composición horizontal (lateral) y vertical. Generalmente la permeabilidad del sedimento en la dirección horizontal (lateral) es órdenes de magnitud mayor que la de la dirección vertical. En las rocas sedimentarias consolidadas el flujo subterráneo también depende del proceso de fisuración. Esto se debe a las perturbaciones tectónicas y a las alteraciones exógenas secundarias (meteorización, karstificación). En resumen:

Las rocas sedimentarias, que son ricas en carbonatos y sulfatos, se dividen en varios grupos. Los procesos geoquímicos pueden influir la composición isotópica del agua subterránea (por ejemplo, el ^{14}C). Las areniscas constituyen generalmente importantes acuíferos, mientras que las arcosas y grauwacas no.

Las rocas arcillosas, las margas y las pizarras generalmente presentan una permeabilidad hidráulica muy baja. Esta es la razón por la que generalmente dan lugar a los acuícludos que se forman entre acuíferos y que determinan la distribución del sistema de flujo.

Las rocas carbonatadas (calizas y dolomías), que generalmente están karstificadas, forman excelentes acuíferos. El dióxido de carbono del agua disuelve la roca, amplía las fisuras y crea cavidades kársticas con secciones generalmente grandes. Como la capacidad de filtrar la recarga es baja, el agua subterránea a menudo está contaminada y fluye muy rápidamente.

Las rocas sedimentarias muy solubles (evaporitas), que incluyen el yeso, la anhidrita, el cloruro sódico (halita), y otras sales. Si entran en contacto con el agua subterránea rápidamente se forman enormes cavidades kársticas. Esto provoca la subsidencia del terreno y crea serios problemas, como la irrupción de agua en las minas de sal. Los análisis isotópicos estables permiten identificar tanto el origen

del agua subterránea como las salmueras, y orientan medidas contra tales fenómenos catastróficos (Brown,1981).

d) Sedimentos No Consolidados

Los sedimentos no consolidados están formados por varios tipos de grava, arena y arcilla; algunas veces están constituidos por una mezcla de materiales orgánicos. Estos sedimentos se presentan como aluviones en los valles fluviales, sedimentos lacustres en las cuencas lacustres, o sedimentos de plataforma a lo largo de la costa. También se encuentran en forma de sedimentos deltaicos, sedimentos de los abanicos aluviales de las depresiones intramontanas, y sedimentos glaciofluviales arrastrados de las morrenas. Normalmente los sedimentos no consolidados forman excelentes y muy eficientes acuíferos. Su porosidad y su permeabilidad son generalmente elevadas, a menos que se mezcle con material arcilloso, y depende de la distribución del tamaño de grano en lugar del tamaño absoluto de los granos. El factor decisivo es la presencia de las partículas de arcilla extremadamente finas. Al aumentar la porosidad efectiva, aumenta la permeabilidad. Si la presión hidráulica decrece debido a intensas extracciones de agua subterránea, los depósitos de gran espesor pueden llegar a experimentar subsidencia.

En las regiones húmedas los finos eólicos y las dunas de arena bien clasificada forman importantes acuíferos con excelentes propiedades de filtración (Brown,1981).

➤ Estructuras Hidrogeológicas y Regímenes de Flujo Subterráneo

La estructura hidrogeológica describe la configuración de los acuíferos y acuícludos dentro del ambiente geológico. Determina la circulación de agua subterránea desde la zona de recarga, a lo largo de los caminos de percolación y circulación (reservorio de agua subterránea), hasta la zona de descarga. Las divisorias de agua, condicionadas por la orografía o la geología de la región, separan las zonas de recarga de agua subterránea de los sistemas hidrogeológicos colindantes. Así una estructura hidrogeológica tiene límites fijos que se establecen a partir de la geomorfología y la estructura geológica.

El caudal de flujo en el sistema hidrogeológico depende del gradiente hidráulico o de la pendiente de la superficie piezométrica. Ésta última normalmente cambia debido a la recarga subterránea, que varía estacionalmente (ya que la precipitación controla la fluctuación del nivel de agua subterránea) o debido a las influencias antrópicas (por ejemplo, las causadas por el bombeo de agua del acuífero).

Bajo condiciones favorables las estructuras hidrogeológicas contienen un recurso de agua subterránea que se puede explotar. El valor económico depende del caudal (caudal de descarga del agua subterránea utilizada) y del volumen de almacenamiento (reserva de agua o almacenamiento) (Brown,1981).

➤ **Parámetros Hidrogeológicos Fundamentales**

Estos parámetros son la porosidad, permeabilidad (la transmisividad es producto de la permeabilidad por un espesor saturado) y el coeficiente de almacenamiento.

A. Porosidad (η)

La porosidad se puede aplicar a material granular como conglomerados, gravas, arenas o a material fracturado como rocas calizas; incluso existen materiales granulares compactos que se encuentran fracturados y presentan lo que se llama doble porosidad.

La porosidad de un material se expresa por la relación entre el volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total (Johnson, 1967).

$$\eta = (w / v) * 100$$

Dónde:

η : Porosidad en %.

w: Volumen de agua requerida para llevar a saturar todos los intersticios.

v: Volumen total de la roca o suelo.

Se ha considerado:

Porosidad inferior al 5 % : Es baja.

Porosidad entre el 5 y el 20 % : Es media.

Porosidad más del 20 % : Es alta.

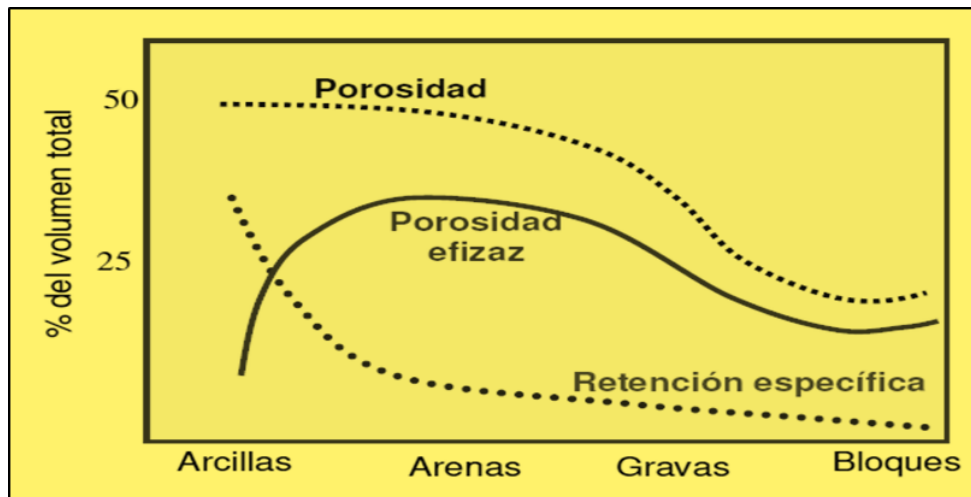


Figura N° 21: Porosidad, normalmente en función de la granulometría (Johnson, 1967).

B. Conductividad Hidráulica (K)

Se define como el caudal que pasa por una sección unidad del acuífero bajo un gradiente también unidad a una temperatura fija o determinada.

$$v = K * i$$

Si $i = 1$, entonces $v = K$

La permeabilidad es la facilidad que tiene un material geológico para dejar pasar cualquier fluido, en este caso el agua, a través de los intersticios. Cuando el fluido es agua, se considera más adecuado emplear conductividad hidráulica, concepto que incorpora la densidad y viscosidad del agua.

Material	Conductividad horizontal (m/s)	Conductividad vertical (m/s)
Anhidrita	$10^{-14} - 10^{-12}$	$10^{-15} - 10^{-13}$
Creta	$10^{-10} - 10^{-8}$	$5 \times 10^{-11} - 5 \times 10^{-9}$
Caliza, Dolomía	$10^{-9} - 10^{-7}$	$5 \times 10^{-10} - 5 \times 10^{-8}$
Arenisca	$5 \times 10^{-13} - 10^{-10}$	$2.5 \times 10^{-13} - 5 \times 10^{-11}$
Pizarra	$10^{-14} - 10^{-12}$	$10^{-15} - 10^{-13}$
Sal	10^{-14}	10^{-14}

Figura N° 22: Efecto de la anisotropía en relación con la conductividad hidráulica para distintos tipos de roca (Domenico y Schwarz, 1997).

C. Transmisividad (T)

Se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unidad a una temperatura fija determinada (Stephens, 1998).

Dónde:

$$T = K \cdot D$$

T= transmisibilidad (m²/día o cm²/hora)

K= conductividad hidráulica (m³/día o cm³/hora)

D= Espesor del acuífero (m o cm)

D. Coeficiente De Almacenamiento

Se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero de sección igual a la unidad altura y altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico o de carga hidráulica (Davis y DeWiest 1966).

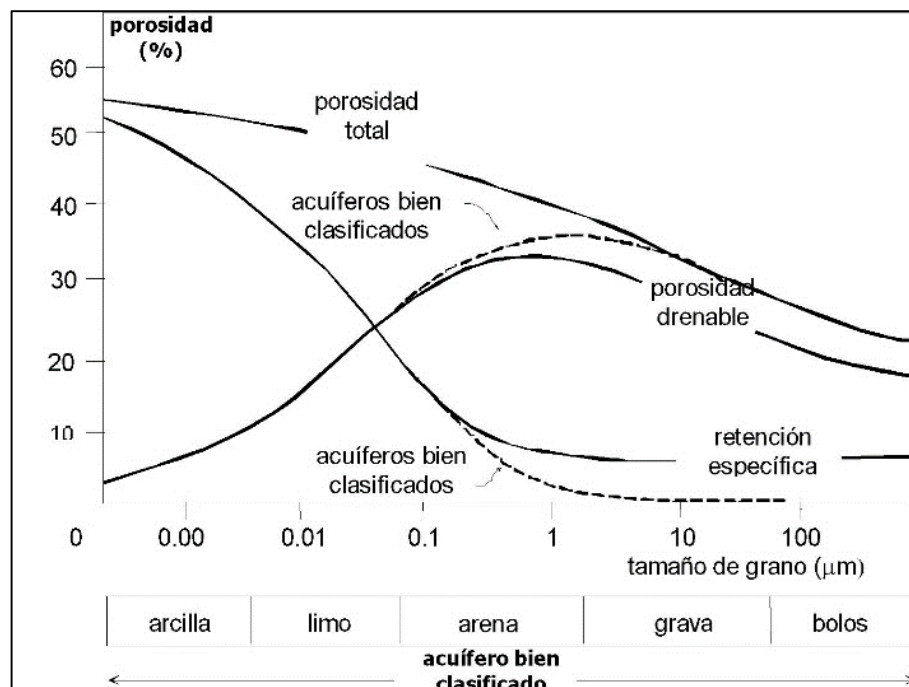


Figura N°23: Relación entre la porosidad y el almacenamiento (Davis y DeWiest, 1966).

E. Ley De Darcy

Henry Darcy en 1856, formuló la ley fundamental que describe el movimiento del agua de la zona saturada a través del suelo; él llegó a la conclusión de que la cantidad de agua que fluye a través de un medio poroso es proporcional a la sección transversal A.

Dónde:

$$Q = KA \frac{\phi_1 - \phi_2}{L}$$

Q: Volumen de agua que atraviesa la muestra por unidad de tiempo.

A: Área de la sección transversal.

L: Longitud de la muestra.

- ϕ_1 y ϕ_2 : Potenciales en los puntos 1 y 2 respectivamente.

K: Constante de proporcionalidad llamada conductividad hidráulica.

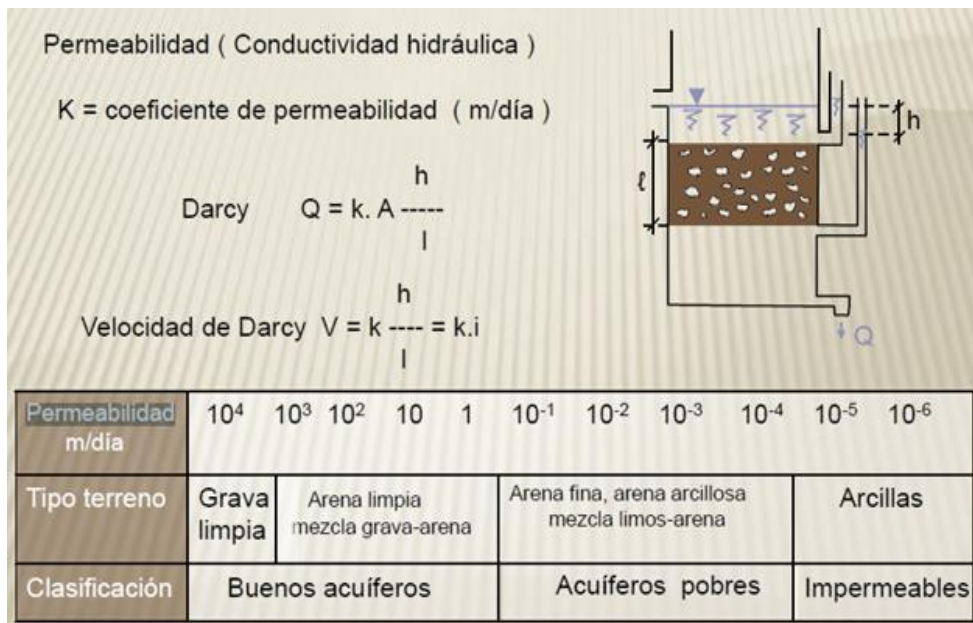


Figura N° 24: Ley de Darcy (González de Vallejo, 2004)

F. Método de Hvorslev

Se genera un ascenso inicial (h_0) y se miden los niveles en función del tiempo. Para ser utilizado en piezómetros que no necesariamente atraviesan el acuífero en su totalidad. La permeabilidad del terreno viene dada por la siguiente expresión:

$$K = \frac{r_w^2 \ln\left(\frac{L}{r_f}\right)}{2 L t_{37}}$$

donde : K = permeabilidad o conductividad hidráulica

r_w = radio de la entubación

L = longitud de la rejilla o parte ranurada de la perforación

r_f = radio de la zona filtrante

t_{37} = tiempo en el que aún perdura el 37% del ascenso instantáneo inicial⁵

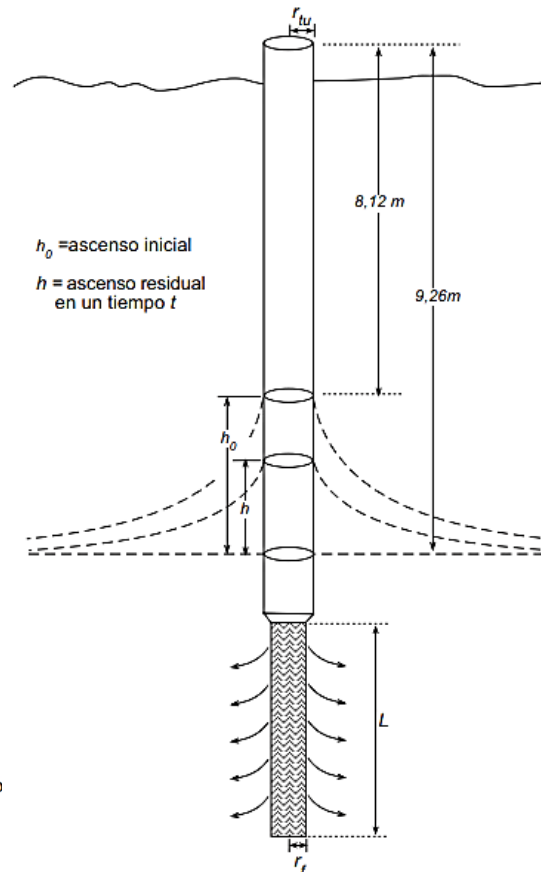


Figura N° 25: Método de Hvorslev (Sánchez, 2011)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

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 asociados 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).

Permeabilidad: Capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna (Lambe, 1997).

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).

Cuenca: es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago, delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas (Faustino, 2006).

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).

Logueo Geotécnico: Es el levantamiento dirigido, el cual considera varios tramos de testigos de sondeos de igual aspecto y comportamiento donde se determinan las propiedades de las estructuras, la resistencia de la roca, el grado de meteorización y se realiza una estimación visual del GSI.

Core Orientado: Consiste en identificar el punto más bajo (marca inferior) en la cara superior de lo que será la próxima ejecución del núcleo.

Método SWiPS: El Sistema de obturadores estándar de cable SWiPS (fabricado por Inflatable Packers International IPI) sustituye en todas sus aplicaciones al antiguo sistema de obturadores inflados con gas y con cable, El sistema de obturadores estándares con cable SWiPS solo utiliza un elemento de obturador para pruebas con un solo tapón y dos componentes para un sistema doble.

Método de Hvorslev: Se genera un ascenso inicial y se miden los niveles en función del tiempo. Para ser utilizado en piezómetros que no necesariamente atraviesan el acuífero en su totalidad. La permeabilidad del terreno viene dada por la siguiente expresión (Sanchez, 2011).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Ubicación y Acceso

➤ **Ubicación Política:**

El área de estudio se encuentra ubicada en el distrito Cañaris, provincia de Ferreñafe, Región Lambayeque.

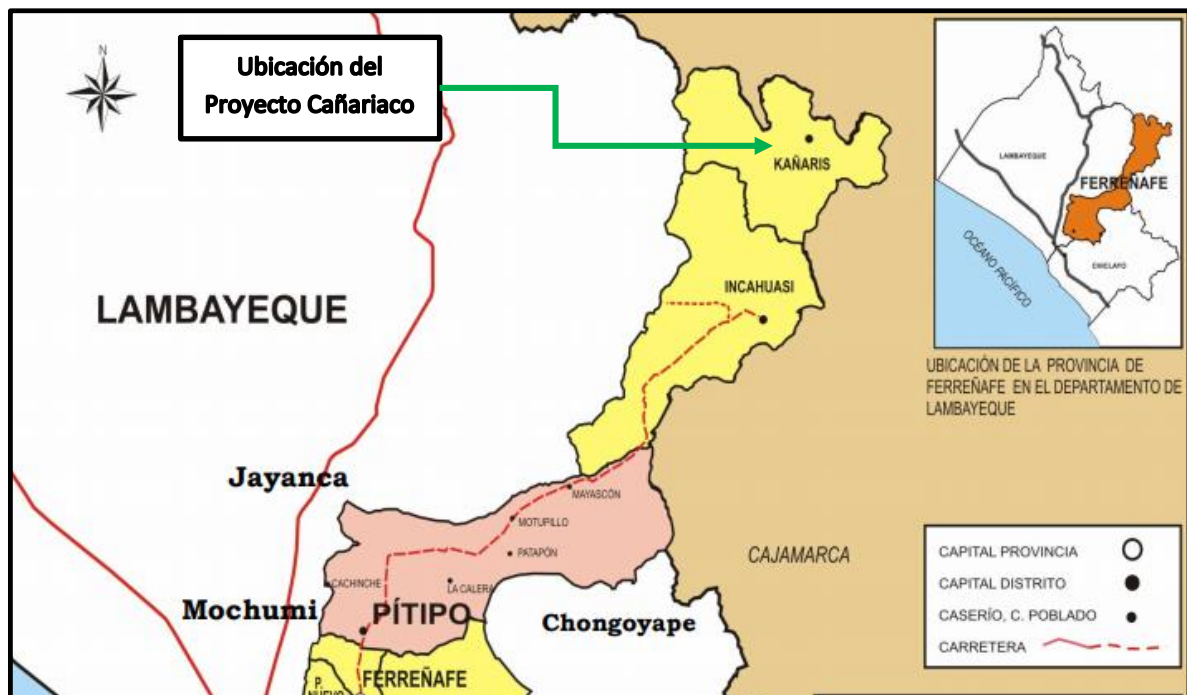


Figura N° 26: Ubicación Política del Proyecto Cañariaco (Municipalidad de Lambayeque, 2012)

➤ **Ubicación Geográfica:**

Dicha zona está a una altura de 3000 msnm, comprende los centros poblados: Atunloma, Magmapampa, Qurichima, San Jose Alto, Tambillo.

Presenta las siguientes coordenadas UTM–Datum WGS-84_17S (ver Tabla N°05).

Tabla N°01: Ubicación en Coordenadas UTM del Proyecto Cañariaco (Datum WGS-84).

Punto	Este	Norte
1	692021	9327917
2	690166	9327917
3	690166	9325487
4	692021	9325487

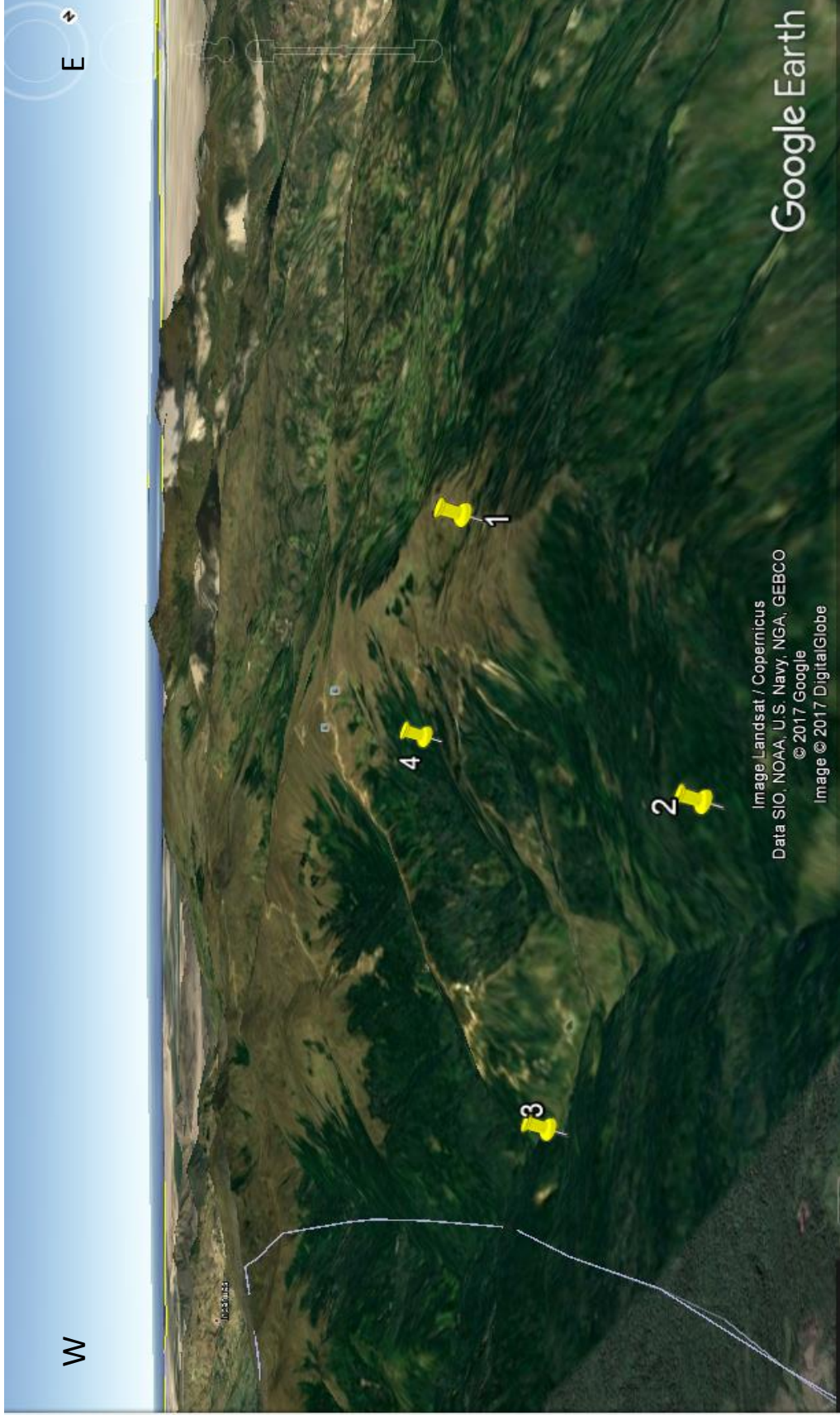


Figura N°27: Ubicación de puntos del Proyecto Cañariaco demarcado en Google Earth.

➤ **Accesibilidad**

El acceso a la zona de estudio se describe mediante el siguiente cuadro:

Tabla N° 02: Vías de Acceso al Proyecto Cañariaco.

Lugar	Tipo de carretera	Longitud
Lima - Chiclayo	asfaltada	700 Km
Chiclayo – Ferreñafe	asfaltada	20 Km
Ferreñafe - Proyecto Cañariaco	afirmado	90 Km

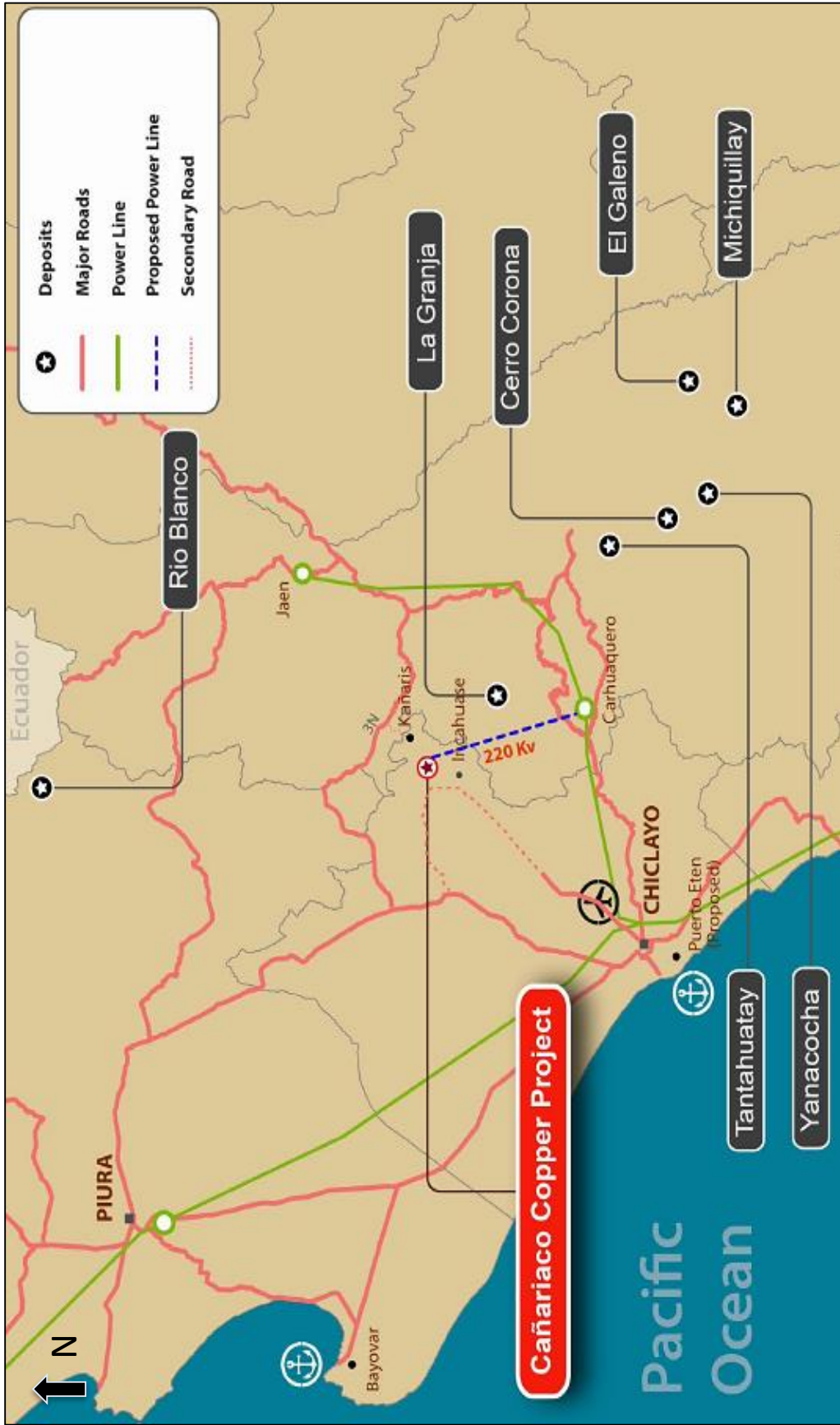


Figura N° 28: Accesibilidad hacia el proyecto Cañariaco (Municipalidad de Cañaris, 2012)

➤ **Caminos de herradura**

Los caminos de herradura son utilizados por los pobladores del lugar, para desplazarse de un lugar a otro, que van desde el campamento hacia los diferentes lugares donde se realizó la perforación, estos caminos han sido de mucha ayuda para llegar a todos los lugares del área de estudio y realizar un buen trabajo de campo, además con forma de mejorar el cuidado del medio ambiente.



Foto N° 04: Camino de herradura hacia la plataforma de perforación.

3.1.2 Clima y Metereología

➤ **Información Climatológica Básica**

La información básica para la caracterización del clima y metereología del área donde se ubica el proyecto, así como del ámbito de influencia directa e indirecta, proviene de registros de las estaciones Limón e Incahuasi, Para estas estaciones, los datos recientes han sido adquiridos del Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI 2012).

En la siguiente tabla se presenta las principales características de las estaciones Limón e Incahuasi.

Tabla N° 03: Estaciones Meteorológicas (SENAMHI, 2012).

Estación	Tipo	Coordenadas Geográficas			Ubicación Política			Periodo de Registro
		Longitud	Latitud	Altitud	Distrito	Provincia	Región	
Limón	CLI	79°19'	5°55'	1,029	Pomahuca	Jaén	Cajamarca	1995-2004
San Felipe	PLU	79°19'	5°46'	1,855	San Felipe	Jaén	Cajamarca	1988-1997
Incahuasi	CLI	79°19'	6°14'	3,078	Incahuasi	Ferreñafe	Lambayeque	1995-2004
Cañariaco	CLI	79°16'	6°05'	2,761	Cañaris	Ferreñafe	Lambayeque	2005-2006

La temperatura varía con la altitud, que oscila entre 3.0°C y 20°C. La región recibe entre 830 mm y 1700 mm de lluvia al año; la temporada de lluvias se extiende desde noviembre a marzo.

➤ **Información Climatológica Regional**

La caracterización espacial del clima se ha realizado principalmente en base a los parámetros de temperatura y precipitación, considerados ellos como los elementos de mayor incidencia, los cuales están asociados principalmente a la altitud y a las condiciones fisiográficas del entorno.

a) Relación entre la Altitud y la Temperatura Media Anual

La temperatura está relacionada con los meses de estiaje y de mayor evaporación que genera una pérdida de la humedad natural del suelo que a su vez conlleva a la pérdida de filtración de las aguas, pérdida de la cobertura vegetal produciéndose una menor protección del suelo contra la evaporación reseca los suelos disminuyendo los niveles freáticos y el caudal de los manantiales, así como que inusuales lluvias causen mayor proceso de erosión en los suelos.

El ámbito de estudio se encuentra en la margen derecha del río Huancabamba, y abarca la totalidad de la cuenca del río Cañariaco cuyas aguas descargan al río Huancabamba.

Los periodos de registro utilizados para estaciones cercanas al ámbito de estudio corresponden a los últimos 10 años (1997- 2007). Los valores promedios de estas estaciones se muestran en la tabla siguiente:

Tabla N° 04: Temperatura Media Máxima Mensual y Anual (SENAMHI, 2012).

Estación	Meses												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Limón	25.3	24.9	25	25.2	25.3	25.1	25	25	26.3	26.4	26.2	25.7	25.5
Incahuasi	10.4	10.8	10.8	11	11.2	10.6	10.3	10.6	11	11.2	10.8	10.9	10.8
Huamcabamba	18.7	18.9	18.8	18.6	18.4	17.8	17.4	17.9	18.2	18.8	19.4	19.2	18.5

La relación de temperatura versus altitud con los datos de las estaciones muestra resultados satisfactorios, es decir permite confirmar las tendencias conocidas con una gradiente térmica negativa, es decir una relación de la temperatura y su altitud inversamente proporcionales tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla N°05: Altitud Vs Temperatura Media Anual (SENAMHI, 2012)

Altitud (msnm)	Temperatura Media Anual (°C)
1,500	21.9
2,000	18.3
2,500	14.7
3,000	11.1
3,500	7.5

b) Relación entre la Altitud y la Precipitación Media Anual

Durante la etapa de campo se ha observado las condiciones físicas y biológicas del ámbito de estudio, que permiten afirmar cierta relación directa con las cantidades de precipitación que caen a lo largo del río Cañariaco. En consecuencia, la vegetación existente refleja también las condiciones de humedad del suelo.

De acuerdo a los valores de precipitación de las estaciones ubicadas en el entorno inmediato del ámbito de estudio, se puede inferir que el comportamiento de la precipitación está asociado a la orografía de la cuenca, así como también a su distribución altitudinal, siendo este último de alta incidencia.

Las lluvias están relacionadas directamente a la recarga de los acuíferos, así como al incremento de los procesos erosivos en toda la cuenca del Río Cañariaco, del cuadro se aprecia claramente que la temporada de lluvia se da entre los meses de noviembre a abril y la temporada de lluvia menor está comprendido entre los meses de mayo a setiembre, por lo que el período de mayor aporte de agua al sistema hidrogeológico son los meses de octubre a abril donde ocurren las mayores lluvias.

Tabla N°06: Altitud Vs Precipitación Media Anual (SENAMHI, 2012)

Altitud (msnm)	Precipitación Media Anual (mm)
1,500	432
2,000	513
2,500	870
3,000	1,234
3,500	1,851

➤ **Información Climatológica Local**

En este acápite se presenta la data que se registra desde setiembre del 2006 hasta abril del 2007. Esta información debe tomarse solo como referencial, por cuanto requiere calibrar los equipos de medición (pluviómetro y termómetros).

En la siguiente tabla, se muestra los resultados de los registros de los parámetros mencionados, los cuales sirven parcialmente para cuantificar las condiciones meteorológicas del lugar, solo para el periodo de registro.

Tabla N°07: Temperatura y Precipitación (Estación Cañariaco, 2007).

Meses	T° Max. Mensual (°C)		T° Mín. Mensual (°C)		Precipitación Total Mensual (mm)	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
Enero		15		10		100.1
Febrero		24		0		113.1
Marzo		23		7		259.9
Abril		28		7		203.6
Septiembre	24		8		16	
Octubre	30		-2		64.7	
Noviembre	0		2		128.1	
Diciembre	21		2		7	

3.1.3 Fisiografía

La zona de estudio es muy accidentada, presentando una fisiografía de sierra y una fisiografía de selva en las partes bajas de las cuencas; ambas caracterizadas por la presencia de una multitud de grandes pliegues y cumbres de grandes montañas que son parte de las divisorias de las aguas que van configurando las dos cuencas: la cuenca del pacífico y la cuenca del atlántico. La fisiografía de la selva se encuentra al lado norte y se diferencia de la sierra por sus cortes verticales, laderas de gran inclinación que definen profundas quebradas que forman cañones menores que desembocan al cañón mayor del Huancabamba.

Las zonas de vida que encontramos en la fisiografía están representadas por unidades bioclimáticas, estas se caracterizan por tener cierta uniformidad desde los puntos de vista topográficos, clima y suelos entre otros. En la zona de estudio se han identificado las siguientes zonas de vida:

➤ **Montano Bajo Tropical Seco**

Esta zona de vida se encuentra ubicada en la parte baja y media de la cuenca del río cañariaco, entre altitudes de 2000 a 2600 msnm, se extiende por los dos flancos del río Cañariaco. En este ámbito se ubica los siguientes caserios: El Chorro, Pillota, Calvinche, Sigues, Hacienda Quicolma, Litopampa, Mitobamba, Cahuantra, Ajiaco y el pueblo de Cañaris. La temperatura estimada en esta zona

de vida varía de 14 a 18°C, y la precipitación estimada fluctúa entre 613 y 932 mm/año.

➤ **Montano Bajo Tropical Húmedo**

Esta zona de vida se encuentra ubicada en la parte media y se extiende a lo largo del eje del río Cañariaco y sus flancos laterales; abarcan inclusive parte del área donde se encuentra el proyecto minero (sub cuencas de las quebradas Norte y Oso). Esta zona de vida está comprendida entre las altitudes 2600 y 3000 msnm. La temperatura estimada varía de 11 a 14°C, y la precipitación estimada fluctúa entre 932 y 1234 mm/año.

➤ **Montano Tropical muy húmedo**

Esta zona de vida se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca del río Cañariaco, entre altitudes de 3000 a 3800 msn; compromete también parte de las subcuencas de las quebradas Norte y Oso. La temperatura estimada de 6 a 11°C, y la precipitación estimada fluctúa entre 1234 y 2160 mm/año.



Foto N° 05: Fisiografía del Proyecto Cañariaco

3.1.4 Vegetación

En la zona de estudio se encontraron las siguientes formaciones vegetales:

➤ **Bosque Bajo**

Se ubica en las partes bajas de la zona de estudio, entre los 2,900 m y 3,100 m de elevación. Son bosques que presentan abundante materia orgánica, el suelo es ácido. El dosel alcanza de 15 m a 18 m y presenta árboles emergentes. La comunidad de plantas epifitas está dominada por especies avasculares (musgos), entre las vasculares destacan los helechos.

➤ **Bosque Alto**

Se ubica entre los 3,200 m y 3,400 m de elevación, el suelo también es ácido con notoria cantidad de materia orgánica, se presenta como una delgada franja boscosa sobre el Bosque Montano Alto. El dosel alcanza entre 5 m y 14 m de altura y presenta pocos árboles emergentes. La comunidad de plantas epifitas está dominada por especies avasculares (musgos), entre las vasculares destacan las orquídeas.

➤ **Bosque Alto de Palmeras**

Se ubica a los 2,900 m de elevación, abarca un área aprox. de 2 hectáreas, se encuentra parcialmente inundado y está dominado por una especie de palmera de porte arboreo.

➤ **Pajonal**

Se ubica en las partes altas, entre los 3,250 m y 3,550 m de elevación, en zonas sometidas a fuertes vientos, el suelo es alcalino y pedregoso, se presenta como grandes extensiones que cubren las partes altas de las montañas. La vegetación está dominada por hierbas gramíneas de hasta 0.5 m, con presencia de algunas de algunos arbustos, que en algunas zonas alcanzan una abundancia considerable. En el pajonal es posible encontrar matorrales, principalmente entre los 3,100 m y 3,300 m de elevación adyacente a los bosques enanos o inmensos en el pajonal. La altura de estos matorrales es de 0.5 m hasta 1.7 m en algunas áreas. Los puntos evaluados tienen impacto negativo alto debido a la actividad ganadera.



Foto N° 06: Vista del Bosque Alto en el Proyecto Cañariaco.

3.1.5 Geografía

El área de estudio se encuentra ubicada según la clasificación de Javier Pulgar Vidal en la Región natural Quechua (clima templado), comprendiendo superficies que van de 2300 m.s.n.m. a 3500 m.s.n.m.

3.1.6 Geomorfología

El área de estudio presenta características geomorfológicas variadas, resultados de procesos geológicos que pueden dividirse en los que se originan en el interior de la tierra y los que lo hacen en su parte externa.

Los fenómenos geomorfológicos y geformas del proyecto Cañariaco es muy variada y que en su extensión han dado la configuración topográfica que se observa en la actualidad donde se observa quebradas y valles concesiones típicas en forma de “V” con flancos laterales cerrados.

En Cañariaco norte se observa una topografía muy variada con pendientes pronunciadas que oscilan entre 50°- 70° y de pendientes suaves que oscilan entre 5°- 15° hacia las zonas de las comunidades de Atuloma, Magmapampa y Chilvaca.



Foto N° 07: Geomorfología del Proyecto Cañariaco.

➤ **Procesos Endógenos**

Los procesos endógenos, han ocurrido desde la creación de la Tierra y es parte de la evolución natural de nuestro planeta.

a) Diastrofismo Orogénico

Estos movimientos han sido rápidos, y que han producido los fallamientos y plegamientos.



Foto N° 08: Muestra de Fallamiento de extensión de 400 mm, en perforación orientada del proyecto Cañariaco

b) Diastrofismo Epirogenético

Se presenta de una forma lenta, no han producido rompimiento en la superficie, pero sí descensos.



Foto N°09: Vista de las Montañas con pendientes abruptas en el Proyecto Cañariaco.

➤ Procesos Exógenos

Los procesos que se producen en la superficie terrestre afectan a los levantamientos y hundimientos de la corteza terrestre; estos agentes geodinámicas externos como el agua, el viento, el sol, la gravedad y organismos vivos ayudan al modelamiento del relieve, el agua permite la formación de depósitos aluviales en zonas de quebrada, debido a que en periodo de lluvia arrastra una gran cantidad de partículas de diferente tamaño granulométrico.

3.1.7 Unidades Geomorfológicas

➤ Relieve Cordillerano

a) Cumbres Semiredondeadas:

Ocupa las partes altas, conformado por las cadenas de cerros, con relieves que terminan ligeramente en aristas, debido a que los ríos principales de la zona presentan orientaciones andinas, que son las últimas digitaciones de borde

cordillerano, el agente modelador más características es la orogenia andina (tectónica compresiva), seguido por la físico-química.

b) Altiplanicies Disectadas

Presenta un relieve moderado con pendientes de 25% a 35% presentando formas de tipo modelado glaciar integrado, por penillanuras, colinas y cadena de cerros suaves a fuertes, con variaciones locales desde los 3300 a 4200 msnm, ascendiendo suavemente hacia la divisoria de aguas. En su mayoría se encuentran disectadas por ríos y quebradas, destacándose valles en “U” en las cabeceras, y en “V” en las desembocaduras.

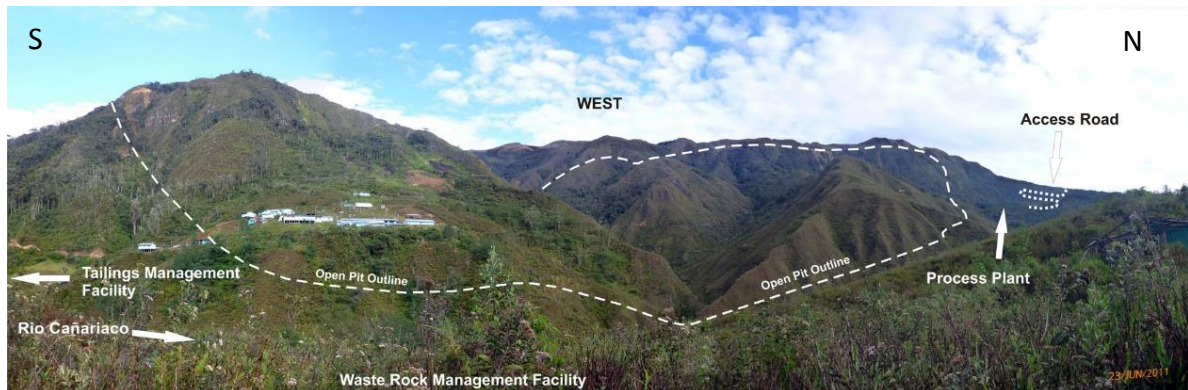


Foto N°10: Unidades Geomorfológicas presentes en el Proyecto Cañariaco.

➤ Laderas

a) Laderas Fuertemente Empinadas

Su pendiente va de 35% a 50%, a lo largo de la margen izquierda y derecha del río Cañariaco hasta el río Huancabamba. Los fenómenos que se presentan a menudo son deslizamientos y desprendimientos de rocas en su mayoría en suelos paleozoicos.

➤ Montañas

a) Montañas Altas

Unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, caracterizada por presentar topografía abrupta y accidentado con pendiente mayores a 50%, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y

cuyas laderas regulares, irregulares a complejas, presentan un declive promedio superior al 30%. (FAO, 1968)

b) Media Montaña

Ubicada en una zona de transición entre las montañas altas y montañas bajas, con pendientes de 35% a 50%, con vegetación densa y morfología variada, con presencia de la erosión fluvial como agente principal modelador.

3.1.8 Drenaje

Debido a los diferentes puntos de afloramiento de agua en las partes altas del proyecto (filtraciones, manantiales y bofedales), en la zona se puede observar un drenaje controlado por las fracturas y fallas, con diferentes quebradas y arroyos que son afluentes de dos colectores principales, en la zona del proyecto existen dos quebradas principales: quebrada norte y quebrada oso, que estas a su vez son colectoras de diferentes arroyos que atraviesan el área mineralizada y que luego desembocan al río Cañariaco, que es el principal colector de dicha cuenca que tiene flujo superficial en un sentido de Sur a Norte.

En la zona Norte, se encuentra controlada por un drenaje dendrítico de flujo permanente, variando en épocas secas de lluvia. Se caracteriza por las quebradas Iyaychingana y Pishyaco y la quebrada Minasucho perteneciente a la zona este, que ambos pertenecen a la cuenca del río Cañariaco. Zona saturada debido a que está compuesta por bofedales manantiales. Se observa abundante vegetación, presenta una topografía abrupta característica de un valle fluvial joven.

Hacia la zona sur, se encuentra controlado por un drenaje dendrítico de flujo permanente, variando durante épocas secas y de lluvias. Se caracteriza por la quebrada tambillo perteneciente a la cuenca de la quebrada Tócora. Se encuentra controlado por una zona saturada formado por bofedales y manantiales con una abundante vegetación típica de altura, alimentada por las filtraciones de lagunas ubicadas en la parte alta de la zona y por una falla regional que cruza sur norte paralela a la quebrada, cortando rocas volcánicas fuertemente fracturadas de grano medio a grueso. Presenta una topografía abrupta característica de un valle fluvioglacial.

3.1.9. Hidrología

El área de estudio se encuentra dentro las cuencas de drenaje del río Cañariaco, y la quebrada Tócora, donde el proyecto se caracteriza por pertenecer a la cuenca del río Cañariaco, tomando el nombre de Jatun Yacco en la naciente, que tiene un recorrido de sur a norte aproximadamente de 23.5 Km, hasta la desembocadura de ambos en el río Huancabamba y este drena al río Marañon el cual al río Amazonas, desembocando en el Océano Atlántico. El río fluye a la margen derecha del Proyecto Cañariaco Norte y Cañariaco Sur. Dicho río baja su nivel por casi medio año, incrementando al máximo su caudal entre los meses de Noviembre y Abril durante las estaciones de lluvia. La zona de recarga del río Cañariaco contiene un sistema de drenaje dendrítico muy bien desarrollado. El desagüe superficial (escorrentía) va dirigido del NO y O-E (área de bofedales) hacia las partes dentro del proyecto, en dirección de la confluencia de las quebradas Norte y Oso con el río Cañariaco, que evacua toda la masa de agua fuera del Proyecto.

El río Cañariaco se comporta como zona de descarga del área de estudio (río ganador), presentando un flujo promedio de 200 l/s. El río y sus recursos de agua subterránea son vitales para las actividades agrícolas, ganaderas y humanas (Centro Poblado de Cañaris en la parte baja del trayecto del río y al noreste del Proyecto). Presenta una topografía abrupta característica de un valle fluvial joven.

Hacia la zona de las comunidades de Atunloma, Mamajpampa y Chilvaca, se encuentra una quebrada principal denominada Quebrada Tambillo, que es la principal colectora de sus afluentes hacia la zona Este y alta del proyecto Cañariaco, cuyo flujo promedio anual es de 45 l/s, perteneciente a la cuenca de la Quebrada Tócora.

Todas estas quebradas contienen depósitos aluviales caóticos que evidencian flujos temporales fuertes de corto plazo.

Se definió un área de cuenca que abarcan las Quebradas Cañariaco Norte, Cañariaco Sur y Oso, así como parte de la Quebrada Tambillo y río Cañariaco. Esta cuenca tiene un área total aproximada de 80 km².

➤ **Quebradas y Ríos**

a) Quebrada Cañariaco Norte, Sur y Oso

La zona de recarga de la Quebrada Cañariaco Norte, Cañariaco Sur y Oso, tienen un área conjunta de 15 km². Este sistema de quebrada empieza en las cumbres más altas del proyecto y divisoria de aguas (altitud 3,600 msnm), la Qda. Cañariaco Norte, Sur y Oso, tienen una longitud aproximada de 3, 3.5 y 1.5 km respectivamente, y un gradiente promedio cercano a 30 %. Este sistema, comprende la recarga de la margen izquierda del río Cañariaco.

Época de Estiaje:

Los aforos correspondientes al final de la estación seca se tomaron en Octubre de 2007. Los aforos tomados en el sistema de quebradas Cañariaco Norte, Sur y Oso, registraron 100 l/s en la Qda Cañariaco Sur, 30 l/s en la Qda. Cañariaco Norte y 20 l/s en la Qda. Oso, disminuyendo en un 10 % en los meses de Junio a Setiembre. Sin embargo, parte del flujo adicional de las quebradas pueden ocurrir al flujo base de las aguas subterráneas caracterizadas en ésta investigación.

Época de Lluvias:

Los aforos realizados al final de la época húmeda (Junio 2008), registrados 200 l/s en la Qda. Cañariaco Sur, 50 l/s en Qda. Cañariaco Norte y 42 l/s en la Qda. Oso. Se considera que la mayor aportación de la zona vegetal.

b) Sistema de Quebrada Tambillo

La cuenca de la Quebrada Tambillo tiene un área de 40 km², con una longitud de aproximadamente 14 Km, y un gradiente promedio de aproximadamente 30%, iniciando a una altitud de 3750 msnm.

Época de Estiaje:

Los aforos fines de la estación seca se realizaron en Octubre de 2007. El sistema de Quebrada Tambillo empieza donde nace el arroyo de bofedales de los puntos de monitoreo, luego captando varios afluentes durante su trayecto, calculándose un promedio de 25 l/s. En ésta estación, no se realizaron a detalle los aforos en la cabecera de la cuenca por no contar con los permisos pertinentes.

Hacia la zona Suroeste del proyecto, los puntos de control presentan un caudal de 16.4 l/s y 10.6 l/s y la quebrada cerca a la comunidad de Mamajpampa, a una distancia de 3 Km, se calcula una descarga de 197 l/s, luego derivando sus aguas hacia la Quebrada Tambillo y posterior a la Quebrada Tócora y luego al río Huancabamba.

Época de Lluvias:

El aforo realizado en Junio del 2008, incrementó su caudal a 201 l/s. En la cabecera de la cuenca, se registra caudales de 18 l/s, con un recorrido de aproximadamente de 5 Km aguas abajo de la cuenca, llega a valores mayores a 100 l/s, posteriormente captando las aguas y así desembocar en la Quebrada Tócora.

c) Río Cañariaco

La cuenca del río Cañariaco tiene un área aproximada de 97 Km², desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Huancabamba. El área de estudio abarca la zona donde toma el nombre de Jatun Yacco (aguas arriba del río Cañariaco), formando un área aproximada de 26 Km² y un gradiente promedio de aproximadamente 23 % a una distancia de 7 Km de longitud.

Colector principal de la Quebrada Norte que tiene un recorrido Oeste-Este (W-E), que cruza todo el proyecto, que nace al Oeste de una zona saturada de bofedales y manantiales ubicados en la parte alta del valle y Quebrada Sur,

Época de Estiaje:

El río Cañariaco registró en el mes de octubre de 2007, 700 l/s, captando las aguas de las quebradas Norte y Sur, antes de la descarga de la Quebrada Sur. El río es la principal descarga de las aguas de la cuenca del proyecto tanto de aguas superficiales como subterráneas.

Época de Lluvias:

En el mes de Junio de 2008, se registró (aguas abajo de Qda Norte y proyecto) 1367 l/s, siendo un flujo torrentoso y en épocas de tormentas sobrepasa este caudal, llegando a niveles altos que se dificulta la medición insitu. Hacia el Sur, en la estación se registró un caudal de 350 l/s pudiendo llegar a 500 l/s en tormentas durante la época.



Foto N°11: Vista del Rio Cañariaco

d) Lagunillas y Bofedales

En el área de investigación, se identificó una lagunilla ubicada en la zona de Tambillo, en la zona alta se ubica la laguna Tembladera, cuyo flujo pertenece a la cuenca del rio La Leche, el cual no se encuentra dentro de la zona de estudio.

Las zonas de bofedales, se ubican hacia la parte Oeste y Noroeste del proyecto, caracterizando así varias zonas húmedas y con vegetación en la cuenca de la Quebrada Tambillo, En las cercanías del proyecto existen pequeñas áreas de filtraciones que han formado pequeños bofedales.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología utilizada en esta investigación fue primaria y secundaria que consistió en la observación, descripción y análisis de datos obtenidos en campo mediante la realización de logueo geológico -geotécnico, ensayos de Lugeon en las perforaciones, además está basada en sus objetivos

- El trabajo de campo permitió la recolección de datos de las perforaciones orientadas en cuanto a las condiciones geomecánicas y de permeabilidad de las rocas.
- Los datos de campo se tomaron durante el tiempo que duró la investigación.
- Se trabajó con planos base a escalas 1/ 100 000.

Tabla N° 08: Metodología de la investigación.

Criterio	Investigación
Finalidad	Básica
Estrategia	Cuantitativa
Objetivos	Descriptiva
Fuente de datos	Primaria y secundaria

3.3 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Etapa de Gabinete

Está definida por la revisión bibliográfica, donde se recopiló y revisó toda la información hidrológica, hidrogeológica, geológica y geomorfológica de la zona de trabajo.

Se realizaron coordinaciones con la empresa CANDENTE COOPER, para tener todas las facilidades y realizar el presente proyecto de tesis.

Finalmente, con toda la información obtenida, se realiza el informe respectivo para su presentación y sustentación como tesis profesional.

3.3.2 Etapa de Campo

Se realizó una campaña de campo, donde se realizaron las perforaciones ensayos orientadas, al mismo tiempo se desarrollaba el logueo geológico – geotécnico, además de los de permeabilidad tipo Lugeon.

Los ensayos de permeabilidad realizados tenían una duración promedio de 6 horas, donde se tomaba datos durante todo el procedimiento.

3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico y determinar:

¿Cuáles son las fuentes de donde vamos a obtener los datos?

¿A través de qué medio o método vamos a recolectar los datos?

¿De qué forma vamos a preparar los datos recolectados para que puedan analizarse y respondamos al planteamiento del problema?

En el cuadro N°09 se puede ver las técnicas que se utilizaron para recolectar los datos y el instrumento que se aplicó para medir las variables contenidas en las hipótesis.

Tabla N° 09: Técnicas para la recolección de datos.

VARIABLE	INDICADOR	ÍNDICE / ÍTEM	FUENTE	TÉCNICA	INSTRUMENTACIÓN
Estructural	Fracturas Diaclasas	Número /m2	Primaria	Logueo Geotécnico/ RMR – RQD	Formato de Registro Equipos
Litológico	Tipo de Roca	Número de Unidades	Primaria	Logueo geológico/ Clasificación según tablas	Formato de Registro/ Tablas
Cantidad De agua	Volumen/ Unidad de tiempo	L/s	Pozo de Perforación	Ensayo de Permeabilidad Tipo Lugeon	Formato de registro
Componentes Físicos superficiales	Área Forma Geomorfología Fisiografía	Número De Planos	Primaria/ Secundaria	Descriptiva/ Lectura de Planos	Formato de Registro/ Planos satelitales
Suelos	Tipos de Suelos	Número de Unidades de suelos	Primaria/ Secundaria	Mapeo Geológico/ Clasificación según tablas	Formato de Registro/ Tablas
Georeferencia	Coordenadas Rumbos	UTM Grados	Primaria	Lectura de instrumentos	GPS Brújula

3.5 MATERIALES Y EQUIPOS

- Carta Geológica de Jayanca 13-d. Escala 1/100 000.
- Carta Geológica de Incahuasi 13-e. Escala 1/100 000.
- Boletín N° 38.

Tabla N° 10: Materiales y equipos.

MATERIALES - CAMPO	EQUIPOS - CAMPO	MATERIALES - GABINETE Y LABORATORIO
<ul style="list-style-type: none"> • Picota. • Brújula tipo Brunton. • G.P.S Navegatorio. • Lupa (10x y 20x). • Rayador (dureza 7). • Ácido clorhídrico 2 mol. • Libreta de campo, lápiz, colores, plumón. • Protactor (1/1000). • Goniometro • Wincha (50m). • Cámara Digital. • Pizarra acrílica 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina de Perforación y todos sus accesorios • Equipo completo para ensayos de permeabilidad – según método SWiPS • Reflex ACT II RD 	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop • Impresora • Papel bond • Formatos de campo para Logueo • Formatos de permabilidad Lugeon <p>Programas utilizados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autocad civil 3D • Winsitu versión 5.6.22.1 • Excel

3.6 PROCESAMIENTO DE DATOS

El equipo utilizado para el procesamiento de los datos fue el computador con aplicación de programas geológicos. Además, se introdujeron los datos de los logueos geotécnicos y de los ensayos de permeabilidad mediante el método de Lugeon que fueron tomados en campo de cada Perforación.

3.7. GEOLOGÍA REGIONAL

3.7.1 Estratigrafía

En el área afloran rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas, cuyas edades correspondientes han sido datadas desde unidades menores volcánicas que pertenecen al Triásico Tardío - Jurásico Temprano hasta el Paleógeno.

A continuación, se describe sobre las unidades a fin de obtener una idea regional como base para la interpretación hidrogeológica regional, de la que más adelante

se describe localmente, comprendiendo las siguientes formaciones y grupos (Freezer, 2002):

➤ **Formación La Leche**

No se observa claramente en ésta región, se ubica hacia el lado Suroeste-oeste (SOO) de la región geológica. Ésta unidad tiene su sección típica en el curso inferior del río La Leche, donde aflora con un grosor aproximado de 1000 m, constituida de calizas intercaladas con capas de lutita y material volcánico. Perteneciendo al Triásico Superior probablemente en el Noriano (Wilson, 1985).

➤ **Formación Oyotún**

Observándose en la zona sureste (SE), compuesta por una secuencia gruesa de rocas volcánicas con escasas intercalaciones sedimentarias. Litológicamente consiste en bancos medianos o gruesos de piroclastos y derrames de composición andesítico y dacítico. La roca más común es una brecha andesítica maciza de un color negro azulado aflorando en Incahuasi. Perteneciendo al Jurásico Medio, en el Noriano y Liásico Inferior (Wilson, 1985).

➤ **Formación Tinajones**

Se observa un afloramiento en la parte Norte del Proyecto y de la zona en estudio, que consiste de tobas, grauvacas, lutitas, cuarcitas y conglomerados. Se encuentra bien estratificada en capas delgadas a medianas, presentando una estratificación cruzada. Los afloramientos mayormente generan colinas suaves con tonos marrón-rojizos debido al intemperismo. La Formación Tinajones, tiene como base probablemente en el Berriasiano, aunque es posible que llegué hasta el Titoniano del y Jurásico Superior; el límite superior debe ubicarse en el Neocomiano del Cretáceo Inferior, pero aún no se puede precisar la región. (Benavides, 1956 y Wilson, 1963).

➤ **Grupo Goyllarisquizga**

Observándose hacia la zona Noreste (NE). Consiste en afloramientos de areniscas cuarzosas de colores blancos con tonos rojizos a pardos debido al intemperismo; en conjunto forman capas macizas de areniscas separadas por capas menores resistentes que corresponden a limolitas grises y verdosas, correspondientes a la

base de éste grupo (Formaciones Chimú y Santa), ya que las formaciones Carhuaz y Farrat no se han identificado. Perteneciendo al Aptiano (Wilson, 1985).

La parte inferior de la secuencia consiste mayormente de areniscas y en algunas áreas se encuentran un conglomerado cuarzoso.

Al tope predominan areniscas con ligero incremento importante de limolitas grises a verdosas; notándose también una disminución en el grosor de los estratos de areniscas y en el tamaño de los granos; ocasionalmente se pueden encontrar algunos conglomerados polimícticos finos que no exceden 1 m de grosor.

Mayormente el afloramiento se observa hacia la parte Noreste en la zona del cauce del río Utcubamba en una distancia entre 17 a 20 Km aproximadamente.

➤ **Formación Chúlec**

Ubicado en la parte Noreste (NE), constituido litológicamente de calizas, margas beigeas cremas a grises, que ocurren en estratos delgados de 5 a 30 cm, de grosor (Wilson J, 2000); usualmente se encuentran intercaladas con capas gruesas de limolita grises a gris verdosas con meteorización a modo de nódulos algo redondeadas e irregulares; las superficies de estratificación son onduladas, hacia la parte superior las calizas pueden ser tabulares en estratos delgados. Perteneciendo a la parte superior del Cretáceo Inferior, Albiano (Wilson, 2000).

➤ **Formación Pariatambo**

Ubicado en la parte Noreste de la zona, conformada principalmente por caliza de grano fino de color negro, bituminosa y con un olor fétido, con intercalaciones delgadas de lutitas. Su estratificación es delgada y uniforme, de tal manera que forma lajas bastante características.

Las lutitas son negras y bituminosas, y ocurren como intercalaciones delgadas entre las capas calcáreas. Estas facies de la Formación Pariatambo, es bien fosilífera, con abundantes amonites bien conservados. Perteneciendo a la parte superior del Albiano Medio, del Cretáceo Inferior. (Wilson, 1985).

➤ **Grupo Pulluicana**

Consiste de calizas nodulares, con estratificación de límites ondulados que ocurren característicamente en estratos gruesos, generalmente mayores de 50 cm.

Es una unidad que se caracteriza por formar farallones escarpados y pronunciados muy resistentes a la erosión, donde destacan las calizas masivas.

Pertenece a la parte tardía del Albiano medio y el Cenomaniano temprano del Cretáceo Superior. (Benavides, 1956)

➤ **Grupo Calipuy**

Es la formación más representativa de la zona de estudio, que abarca casi toda la zona, éstos volcánicos del Paleógeno de origen continental denominados por Cossio (1964) y Cobbing et al. (1981) como Grupo Calipuy, está conformado por conglomerados con clastos de naturaleza volcánica y Sedimentaria, los cuales se encuentran subredondeados, luego en la parte media se encuentran mayormente lavas de composición ácida a intermedia, con intercalaciones de limos y lutitas rojas, la parte superior es compuesta por niveles de tobas con intercalaciones de lavas perteneciendo al Paleógeno y Neógeno Inferior.

Luego Wilson (1985) reconoció dos unidades, separadas por una discordancia angular, a las que las denominó Formación Llama y Formación Porculla. El volcánico Llama es el inferior y consiste mayormente en andesitas con algunas intercalaciones dacíticas. El volcánico Porculla es el superior se encuentra cubriendo discordante el Volcánico Llama, que está compuesto por dacitas y andesitas. (Baldock, 1971).

La geología en las inmediaciones de la propiedad minera, se compone de andesita a dacitas volcánicas, y tobas del Grupo Calipuy, que fueron intruidas por una serie de stocks y diques porfiríticos. La densa vegetación y la falta de afloramientos en la zona de estudio ha complicado la definición de la relación entre las diversas fases intrusivas. Tres centros de pórfido se han identificado en la propiedad que son: Cañariaco Norte, Cañariaco Sur y Quebrada Verde (Freeze, 2002).

➤ **Depósitos Cuaternarios**

Constituidos por depósitos aluviales y fluviales formando conglomerados, gravas, arenas, limos, etc, se encuentran formando los pisos de los valles y quebradas de toda la zona, donde se encuentran emplazados la mayor parte de los centros poblados y áreas de cultivo. Los depósitos fluviales mayormente se encuentran ubicados en la parte Noreste de la zona de estudio, en los ríos de descarga de toda la cuenca (río Huancabamba) afluente del río Marañón.

3.7.2 Geología Estructural

Uno de los rasgos estructurales comunes son las estructuras mineralizadas principales que tienen una orientación principal NO-SE (Noroeste — Sureste) y están controlados por fallas de la misma dirección, que complementando con el alineamiento regional de yacimientos con similares características metalogénicas. Este corredor estructural estaría conformado por un sistema de fallas de compleja morfología aún no estudiada totalmente.

A lo largo de este corredor se puede observar fallas que han tenido diferente comportamiento cinemático, es decir, que algunos sectores pueden tener movimientos de compresión y en otros de distensión, provocando de esta manera zonas de debilitamiento cortical que facilitan el desarrollo de sistemas volcánicos emergentes relacionados con fases de mineralización hidrotermal.

Estas estructuras probablemente profundas han controlado el emplazamiento de pequeños cuerpos sub volcánicos y un intenso flujo hidrotermal relacionado al magmatismo Calipuy, en cuyo eje se formaron los edificios volcánicos principales (Enríquez y Rodríguez, 2005).

3.7.3 Geología Histórica

Las rocas más antiguas en la región son del Precambriano a Paleozoico inferior, que es cubierto por sedimentos marinos intercalado con unidades menores volcánicas que pertenecen al Triásico Superior - Jurásico Inferior, por ejemplo, la Formación- La Leche. Estas formaciones son coronadas por una secuencia sedimentaria volcánica Jurásica inferior a la superior, denotadas como la Formación

Oyotún. Durante el último Jurásico Superior - Cretáceo Inferior la región fue elevada y erosionada.

Al final del Cretáceo Inferior, la región tuvo una subsidencia lo que se produjo una extensa región de arena cuarcífera (parte inferior del Grupo Goyllarisquizga), que fue depositado sobre las antiguas formaciones. Desde el final del Cretáceo inferior hasta la mitad del Cretáceo superior, más de 1500 m de margas, lutitas y calizas fueron depositadas sobre la región.

La sedimentación se detuvo abruptamente a principios del Paleógeno Eoceno con la erupción y la deposición de las unidades volcánicas de las formaciones Llama y Porculla, que en conjunto conforman el Grupo Calipuy. Luego continúa un periodo de levantamiento y posterior erosión. La reanudación de la actividad volcánica se inició con la erupción de la Formación Huambos durante el Neógeno superior, la nivelación de la secuencia estratigráfica de la región. (Freezer, 2002).

3.8 GEOLOGÍA LOCAL

La geología que caracteriza el área de investigación, esté conformada por rocas ígneas del Paleógeno – Eoceno, siendo fases intrusivas la que alberga la mineralización.

Recientes; mapeos geológicos y perforaciones diamantinas, en Cañariaco Norte indican que el complejo intrusivo Cañariaco forma un cuerpo principal a lo largo de un eje NNO-SSE para una distancia de al menos 1.5 kilómetros y uno secundario a lo largo de un eje ENE-OSO de al menos 1.0 km y se extiende hasta una profundidad de más de 600m.

Se identifican por lo menos tres fases intrusivas ígneas, cuatro fases de brechas magmáticas hidrotermales y tres etapas volcánicas en Cañariaco Norte; que, varían en intensidad y tipo de vetas, la mineralización y la alteración que presentan en la zona (Caira, 2004) fases antiguas a recientes.

➤ **Secuencia Volcánica**

Las rocas volcánicas de grano fino del pórfido de andesita (APV) y tobas dacíticas volcánicas (DTV) son las rocas huéspedes de los eventos intrusivos en Cañariaco Norte. Estas rocas volcánicas se ven afectadas por un tipo variable de alteración de débil a fuerte propilítica, argílica, fílica y potásica (biotita de grano fino). Estos tipos de roca se vieron afectados por cuarzo en fracturas y venillas, stockworks de diversas formas y son mineralizadas con pirita, calcopirita y calcocita.

El metasomatismo de las andesitas volcánicas porfiríticas se producen en el pórfido intrusivo principal. Estas rocas volcánicas son de diversas formas mineralizadas con calcocita, calcopirita y pirita diseminada y ambos con micro fractura y stockwork de cuarzo. Estas rocas están afectadas de diversas formas con una alteración potásica (biotita), fílica, argílica y silícica (Van Egmond, 2006).

➤ **Fases Intrusivas**

La principal etapa intrusiva que contiene la mineralización de cobre en Cañariaco Norte es un pórfido de cuarzo, feldespato (CQFP). Esta fase intrusiva tiene la zona más extensa y que contiene la mayor parte de la mineralización de cobre en Cañariaco Norte. El QFP es una diorita en composición con el 35% de fenocristales de feldespato, 3 a 5 milímetros de tamaño de 1 a 3% aislados ojos de cuarzo, <3 mm de tamaño dentro de una matriz de grano fino. No existe muestra fresca de este intrusivo ya que se ha visto afectada por una alteración potásica, fílica, argílica (intermedio y avanzado) y calcocita y mineralización de calcopirita.

➤ **Brechas intrusivas ígneas (IBx)**

Ocurren dentro de la zona central del definido sistema de pórfido en Cañariaco Norte. Las brechas se producen en cuerpos verticales y alargados pero irregulares con tendencia NO-SE para lela a la principal tendencia del intrusivo.

La composición de los fragmentos es que la mineralización de CQFP con fragmentos que contienen stockwork de cuarzo y principalmente una mineralización de calcocita y pirita dentro de una matriz diorítica microgranular.

La alteración en las brechas es intermedia como argílica y filica como en la mineralización principal CQFP. Las brechas intrusivas son intermineral ya que la matriz esta mineralizada principalmente por Calcocita y Pirita.

3.8.1 Geología Estructural

El ámbito de la propiedad es cortada por dos fallas paralelas con tendencias NO-SE a escala distrital. Una corta la propiedad de Cañariaco y la segunda se produce 7 km al noreste de la propiedad. Estas fallas pueden atribuirse a distancias del orden de kilómetros y estas fallas posiblemente fueron reactivadas y que han heredado su longitud de las estructuras subyacentes.

Además, una serie de fallas NE-SO de mediano rango aparecen en la zona del proyecto. Estas fallas NO-SE y NE-SO pueden haber sido formados como conjuntos relacionados con el tema a lo largo de la cordillera con dirección ENE-OSO principalmente. Además, una serie de estructuras NS a NNO-SSE de mediano rango se producen entre las dos fallas de escala distrital y parece que el control del emplazamiento de las primeras fases del complejo intrusivo Cañariaco y de los principales períodos de mineralización de cobre y la menor etapa tardía de alta sulfuración, alteración y mineralización están asociadas. Estas fallas tienen una curvatura dextral donde éstas tienen un cambio de orientación NNE-SSO a NS, donde cruzan las principales estructuras NO-SE (Caíra, 2004).

Una serie de intrusiones se han identificado en el distrito. Una sola característica circular que mide 8x10 km abarca los tres centros intrusivos mineralizados tales como Cañariaco Norte, Cañariaco Sur y Quebrada Verde.

La principal característica circular se centra en, o cerca de las principales intersecciones de fallas lo que sugiere que el emplazamiento de los complejos intrusivos ha sido localizado por las intersecciones de las fallas NO-SE que se entrecruzan con las fallas NE-SO (Murphy, 2004).

3.8.2 Tipo de Depósito

El objetivo de exploración en el Proyecto Cañariaco, es un depósito de pórfido (molibdeno) de oro y cobre. Este tipo de intrusiones descritas por Titley y Beane

(1981) representan intrusiones relacionadas a sistemas hidrotermales que resultaron del emplazamiento de pequeños plutones de 1/2 a 2 km de diámetro a poca profundidad.

El enfriamiento de los plutones resultó en un extenso fracturamiento de la roca almacén y roca encajante. Esto permitió que el sistema hidrotermal circule soluciones por toda la pila volcánica formando zonas metalíferas y de gran alteración en grandes áreas. Debido al tamaño y al contenido metálico, grandes y pequeñas compañías exploraron este tipo de depósitos alrededor del mundo.

3.9 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La delimitación de la zona de estudio se basó en la realización de las perforaciones orientadas, son puntos determinados de acuerdo a la necesidad del proyecto.

Básicamente los ensayos realizados fueron de permeabilidad los cuales se realizarón, con el transducer, donde se aprecia que la medida se realiza cada segundo, lo cual nos da mayor información sobre la permeabilidad que presenta el proyecto, así poder determinar el comportamiento del agua subterránea.

Tabla N° 11: Ubicación de puntos de perforación.

Drillhole Type	Current Proposed Drillhole ID	WGS84 UTM Coordinates Zone 17S			Drillhole Purpose	Azimuth (°)	Dip (°)	Proposed Drillhole Length (m)
		Easting (m)	Northing (m)	Elevation (msnm)				
GEOTECHNICAL	DH13-01	691206	9327725	?	Plant Site	0	-90	50
	DH13-02	691518	9327684	?		0	-90	50
	DH13-03	691345	9327816	?		0	-90	50
	DH13-04	691295	9327505	?		0	-90	50
	DH13-05	691405	9326746	?	Primary Crusher	0	-90	50
	DH13-11	692300	9328000	?	Sediment Control Facility	0	-90	50
	DH13-20	691550	9325600	?	WRMF	0	-90	100
	DH13-22	692000	9326400	?		0	-90	100
	DH13-23	692000	9325800	?		0	-90	100
	DH13-24	690216	9326998	3190	Open Pit	320	-65	400
	DH13-25	690182	9326734	3170		310	-65	400
	DH13-27	690890	9326650	2880		0	-65	500
	DH13-28	691271	9326447	2820		90	-65	400
	DH13-29	690483	9326000	2892		270	-65	500
DH13-30	691100	9325600	3033	130		-65	500	
TOTAL PROPOSED DRILLHOLE METERAGE=								3300
RESOURCE INFILL	AMM13-G01	690542	9325750	2977	Open Pit	225	-65	500
	AMM13-G02	690930	9325595	3041		180	-65	500
	AMM13-G04	690476	9326447	3076		300	-70	500
	AMM13-G06	691214	9325970	2826		90	-70	400
TOTAL PROPOSED DRILLHOLE METERAGE=								1900
OVERALL TOTAL PROPOSED DRILLHOLE METERAGE=								5200

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ENSAYO DEL MÉTODO SWiPS

Es importante indicar como se realiza el ensayo de Lugeon mediante el método de SWiPs

➤ **Instrucciones**

1. Tome una lectura del nivel de agua en el inicio de su turno o después de un largo período, cuando no hay agua se bombea hacia dentro del orificio.

2. Asegurar que está limpio y todos los anillos de goma lubricado. Si se utiliza un transductor de presión de inicio de grabación de datos y adjuntar el transductor hasta el final de la empaquetadora utilizando la pieza de extensión proporcionada.

3. Asegúrese de que los perforistas han puesto el debido sistema Packer, el anillo de aterrizaje en su lugar.

4. Instruir a los perforistas a lavar el pozo con agua limpia durante al menos 30 minutos antes de la prueba para eliminar los fluidos de perforación o de polímeros introducidos durante la perforación. El agua debe ser transparente durante varios minutos.

5. Instruir a los perforistas para tirar de la broca de nuevo al comienzo del intervalo de prueba (generalmente 15 m. del fondo del pozo de perforación).

6. El empacador se sentará en la broca y se extienden aproximadamente 1,5 m por debajo de la broca. Asegúrese de que la roca en esta sección es lo suficientemente

competente para soportar la 300psi de presión de inflado. Si se trata de roca fracturada muy débil el sistema envasador pueden inflar demasiado y sufrir daños.

➤ **Durante el ensayo**

1. Asegúrese de que el nivel del agua en las barras de perforación se encuentra cerca de la superficie y colocar el conjunto envase en el pozo de perforación.

2. Espere a que el Packer llegue al fondo del pozo y coloque el anillo de aterrizaje. El empacador puede tomar unos minutos para hundir al anillo de aterrizaje en función de la profundidad del pozo. El perforista debe ser capaz de escuchar tres sonidos distintos cuando se escucha en contra de las barras con una llave de tubo.

3. Una vez que el obturador está en el fondo del pozo, llenar las barras de perforación hasta la cima y ver el nivel de agua. El agua no debe caer como el sistema de packer debe formar un sello hermético alrededor del anillo de aterrizaje.

4. Si el nivel del agua está bajando el envasador tendrá que ser vuelto a colocar. Esto se puede hacer mediante la reducción del clave fijo y la fijación a la parte trasera del sistema. El empacador puede ser levantado dando un cable de línea de alambre y puesto en libertad. Esto permite que el obturador a caer de nuevo en el anillo de aterrizaje. El sello puede ahora ser reexaminados.

5. Si después de varios intentos un sellado total no puede hacerse registrar la tasa de caída y continuar con la prueba.

6. Una vez que un sellado adecuado se realiza el envasador está lista para ser inflada.

➤ **Procedimiento de Ensayo**

1. Inflar lentamente uniendo la bomba de agua a la parte superior de las barras de perforación.

2. Comienza el bombeo de agua por el pozo. La presión se acumula en el manómetro del perforador. Permita que la presión aumente lentamente por etapas

mediante la celebración de 100 psi durante unos segundos y luego aumentar a 200 psi, 300 psi hasta 500 psi. Apagar la bomba y permitir que la presión disminuya. Usted debe ver una fuerte caída en la presión una vez que la presión se reduce a 300 psi.

3. El sistema consiste en un muelle de la válvula de agua cargado. El sistema permite inflar el packer mientras que bloquea el agua que fluye hacia fuera desde el extremo del sistema en la roca. Una vez que se alcanza la 500psi resorte está configurado. Cuando la presión del agua disminuye a 300psi el resorte abre la válvula y permite que el agua fluya hacia fuera del extremo del sistema.



Figura N° 2: Datos a tomar en el manómetro

4. Una vez que el packer se infla esperar 30 minutos mientras que la presión de agua en la formación disipa. Tomar una medición del nivel de agua al final de esta espera. Si el nivel del agua sigue bajando la tasa de registro de la gota.

5. Para comenzar el ensayo llenar las barras hasta la parte superior y anotar el tiempo. Si se utiliza un transductor de presión de tomar las lecturas de nivel de agua y anotar el tiempo periódicamente para verificar los datos del transductor. Si no se utiliza un transductor de tomar las lecturas de nivel de agua que se requiere para una prueba.

6. Registre el tamaño de las barras y el volumen de agua añadida para llenarlos.

7. La prueba se considera completa después de 45 minutos o cuando el nivel del agua se estabiliza, lo que ocurra primero.

Extracción de la Packer

1. Desinfe el packer al unirse a la parte de atrás de la línea de alambre y tirando hacia arriba de aproximadamente 15 cm.
2. Deje que se desinfe totalmente (esto puede tardar hasta un minuto).
3. Retire el obturador usando la línea de alambre. Se debe tirar libremente fuera del agujero. Si no repetir los pasos 1 y 2.



Foto N° 12: Inspección de Packer del Método SWIPs

4.2 MÉTODO DE PRUEBA

Pruebas hidrogeológicas en cualquier ambiente plantea desafíos significativos para producir información de prueba que pueda ser evaluada usando métodos analíticos. Pozos de exploración minera proporcionan un grado excepcional de dificultad debido a las locaciones remotas, la limitada infraestructura disponible, las condiciones climáticas extremas, y el hecho de que las investigaciones hidrogeológicas son a menudo secundarias para el propósito del programa de perforación. Estos factores tienden a desalentar a las compañías consultoras de abogar por programas de prueba rigurosos, y explican la capacidad de penetración de los métodos de prueba Lugeon en perforaciones de exploración mineras.

Los sistemas de packer con cable mejorados, como se describió anteriormente, permiten un enfoque de prueba que incluye eventos múltiples que pueden ser analizados independientemente, proporcionando de este modo un mayor grado de confianza en los resultados. Un periodo de presión constante simple seguido de un periodo de recuperación de presión de cierre puede ser conducido en un periodo de tiempo similar a la prueba Lugeon tradicional, pero proporciona la oportunidad de realizar un nivel mucho mayor de análisis, incluyendo evaluación diagnóstica de la geometría de flujo

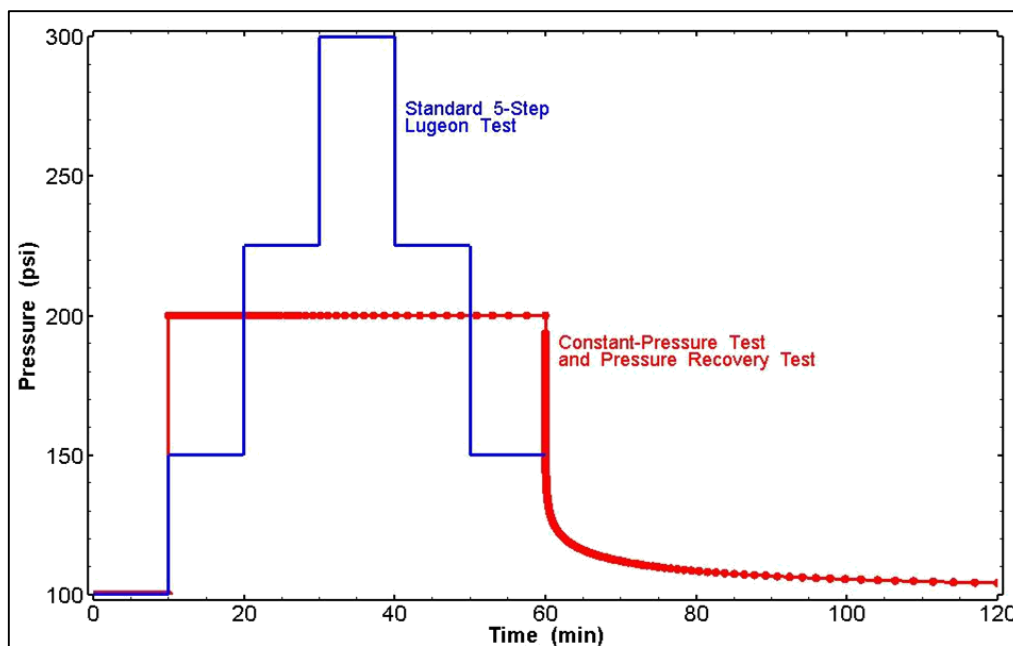


Figura N° 30: Presión vs tiempo prueba Lugeon y prueba de presión constante y prueba de recuperación de presión.

Donde:

• Pressure	• Presión
• Time	• Tiempo
• Standard 5-Step Lugeon Test	• Prueba Estándar Lugeon en 5 Pasos
• Constant-Pressure Test and Pressure Recovery Test	• Prueba de Presión Constante y Prueba de Recuperación de Presión

4.3 ENFOQUE DEL ANÁLISIS

Los proyectos de exploración minera son conducidos en roca fracturada, que a menudo exhibe dimensiones fraccionales, en lugar de una dimensión de flujo 2D o 3D fija. Adicionalmente, la realidad de pruebas en terreno bajo condiciones extremas con infraestructura limitada es que la información de prueba es a menudo menos ideal, proporcionando información que es difícil, si no imposible, de evaluar usando software en base a soluciones analíticas. La aplicación de un simulador de pozo numérico permite que eventos de prueba múltiples puedan ser emparejados simultáneamente, reduciendo de este modo la incertidumbre de las estimaciones de los parámetros de ajuste.

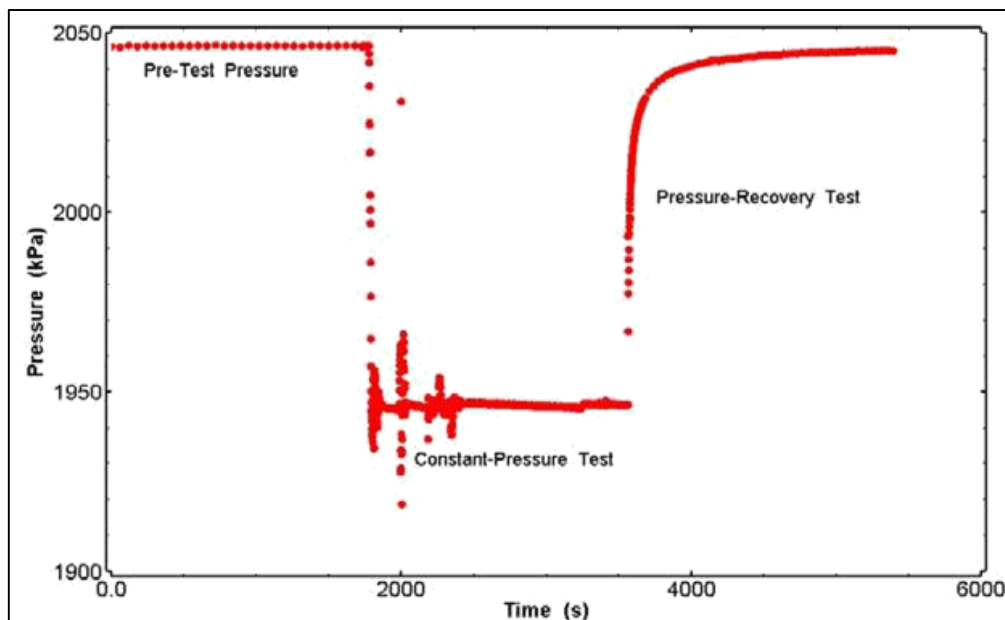


Figura N° 31: Información de pruebas en terreno desde la prueba de presión constante.

Donde:

• Pressure	• Presión
• Time	• Tiempo
• Pre-Test Pressure	• Presión Pre-prueba
• Pressure-Recovery	• Prueba de Recuperación de
• Test	• Presión
• Constant-Pressure Test	• Prueba de Presión Constante

El análisis de prueba de pozo es el proceso por el cual los parámetros hidráulicos de interés tales como conductividad hidráulica (K) y almacenaje específico (S_s) son estimados desde la presión medida y la información de velocidad de flujo. Este problema de inferir K , S_s , etc., de una respuesta medida es generalmente conocido como un problema inverso. Una calidad inherente de los problemas inversos es que los parámetros estimados por medio de este proceso tienen algún grado de incertidumbre asociado con sus valores. Para un modelo conceptual dado, la incertidumbre puede resultar de la correlación entre los parámetros de ajuste, el ruido en la información, y correlación entre parámetros de ajuste y de no ajuste. Dado que la incertidumbre en las estimaciones de los parámetros de ajuste es una parte inherente del proceso de análisis de prueba en pozos, hay varias cosas que un analista puede hacer para abordar esta incertidumbre. La respuesta más directa a la incertidumbre es cuantificarla. También es posible usar el conocimiento propio de las fuentes de la incertidumbre para minimizarla.

El análisis puede ser conducido usando una hoja de cálculo donde se ingresan los datos, para luego ver la información requerida.

4.4 ANALISIS GEOTÉCNICO E HIDROGEOLOGICO

Para el análisis de la Información se utilizaron hojas de cálculo (Método de Hvorslev) donde se determinó la conductividad hidráulica y la transmisividad de las perforaciones realizadas, por cada perforación se realizaron en promedio 7 ensayos de Lugeon, mediante el sistema SWiPS, así mismo se instalaron piezómetros de cuerda vibrante para realizar las lecturas de los niveles de agua que se presentan en cada perforación, así mismo se realizó la evaluación geotécnica de los testigos de perforación del área de estudio mediante ROCK MASS CLASSIFICATION - RMR 1989, donde se determinó el fracturamiento de las rocas volcánicas y plutónicas que se presentan en el lugar.

4.5 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las rocas que se identificaron en el mapeo geológico y logueo geotécnico son rocas volcánicas, intrusivas y brechas hidrotermales que indican que se forman acuíferos dos tipos: libre y confinado, ya que poseen una conductividad hidráulica promedio de $4E-10$ m/s (casi impermeable), en el fondo del valle.

4.5.1 Modelo Hidrogeológico Local

Se llevaron a cabo mediciones del nivel de agua en los piezómetros instalados en la zona del proyecto, datando ahí, un modelo simplificado de la zona de estudio, en principal, la zona mineralizada, futuro tajo, ya que no se cuenta con piezómetros hacia los alrededores, no podemos identificar con exactitud el comportamiento de los acuíferos existentes en la zona, por lo cual, se utiliza el modelo para la interpretación del presente informe, datos de la zona de exploración.

Las direcciones de flujo locales en el futuro tajo, tienen sentido principal Noroeste (NW) – Sureste (SE) y Este – Oeste (W) hacia el río Cañariaco.

Por otro lado, también se puede observar que el sentido de la dirección del flujo va hacia a la Quebrada Norte y luego hacia el Río Cañariaco (que se encuentra al Este y cuyo flujo superficial es S-N). Basados en las mediciones de niveles de agua durante el 2007 al 2008 y 2012 al 2013. Los niveles de agua subterránea durante la temporada seca principalmente hacia la parte Sur del futuro tajo, por lo cual nos representa, que el acuífero representativo de Cañariaco Norte, pertenece a un Acuífero Confinado, controlado por fallas, fracturas y diaclasamientos de la parte intrusiva. Si hablamos de la parte Oeste y Noroeste, representado por depósitos volcánicos, éstos cumplen la función de recarga, almacenando agua durante las épocas de lluvias en sus poros y fracturas, descargando así hacia la zona las zonas bajas por medio de fracturas, manantiales y pequeños arroyos, favorecidos por la topografía de la zona.

El origen del agua subterránea en el área del proyecto es producto de la infiltración que se da en la parte alta del valle fluvial, formada por tobas volcánicas de moderada porosidad y fuerte fracturamiento relacionado a la Quebrada Oso y Quebrada Norte.

En general, la infiltración al acuífero es menor durante la estación seca debido al descenso de las precipitaciones y al incremento de la evapotranspiración, por lo que el área de recarga del acuífero es formación tobacea que se halla desprotegida de vegetación, no así el área del futuro Tajo, por lo que, normalmente, durante la época lluvia, la humedad y la precipitación se incrementan considerablemente, aumentando la recarga del acuífero.

4.5.2 Unidades Hidrogeológicas

La litología dominante en el área de proyecto, está representada por los depósitos del paleógeno consistentes en rocas volcánicas, intrusivas y brechas hidrotermales. Se realizaron análisis para determinar la relación entre la conductividad hidráulica con la litología y fracturamiento de las rocas.

Valores máximos de Conductividad Hidráulica: asociado preferentemente a brechas hidrotermales, principalmente a la intensidad del fracturamiento, cuando las fracturas están abiertas (no rellenadas) y con tendencia a alteración argílica y propilitica. Los valores máximos se dan en una brecha ígnea a partir de los 126.58 a 188.27 m en que atraviesa una brecha polimictica con falla de 129.55 a 135.65 m y de fuerte fracturamiento

Valores mínimos de Conductividad Hidráulica: asociado a las rocas intrusivas y volcánicas competentes, de moderado a a débil fracturamiento, alteración preferentemente fílica, propilítico turmalina.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se determinó que la litología predominante según el cartografiado realizado corresponde a rocas volcánicas, intrusivas y brechas hidrotermales, las cuales son favorables para la formación de acuíferos libres y confinados.

Se determinó el modelo de permeabilidad del proyecto donde se identificó un acuífero confinado, ubicándose en la zona profunda del valle, recargado por la moderada permeabilidad de las rocas intrusivas (zonas de fallas y fracturas) debido a las filtraciones de la cuenca, llegando a niveles piezómetros sobre el nivel del valle, y se identificó un acuífero libre el cual está en las zonas de las rocas volcánicas, debido a la baja permeabilidad y moderada porosidad, descargando rápidamente su contenido hacia las zonas bajas y edáficas de la cuenca.

Al realizar el logueo geotécnico de las perforaciones orientadas, se identificó las zonas donde existe una mayor intensidad en el fracturamiento de la roca y pertenecen a la alteración argílica y propilítica, es aquí donde se realizaron los ensayos de Lugeon, para determinar la permeabilidad.

El proyecto se sitúa en una región con excedente de agua durante la época de lluvias que puede quintuplicar el flujo base, pero normalmente con un déficit de agua durante la época de estiaje. Cuyos suministros principales para flujo base se encuentran en las quebrabas Norte y Oso.

Avances recientes en sistemas de packer con cable incluyen packers inflados hidráulicamente, válvulas de cierre en la perforación activadas por barras de

perforación, y adquisición de información de presión en el pozo usando transductores de presión con registro de datos.

Reemplazar los ensayos Lugeon tradicionales con pruebas de presión constante conectadas con pruebas de recuperación de presión proporciona información hidrogeológica más detallada, lo que incluye presión estática e información de geometría de flujo.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con los estudios de Investigación Geotécnica del proyecto Cañariaco, con lo cual se puede determinar a mayor escala el comportamiento geomecánico de las rocas que se tienen en el proyecto, sobre todo en el futuro tajo.

Ampliar las zonas donde se deben ejecutar las perforaciones en el proyecto Cañariaco, para así ampliar el modelo de permeabilidad del proyecto de acuerdo a la investigación geotécnica que se realice, sobre todo en el futuro tajo.

Realizar perforaciones a los alrededores del proyecto con el fin de obtener datos geotécnicos e hidrogeológicos, para tener un mejor modelo del agua subterránea que se tiene en el proyecto.

Referencias Bibliográficas

- Barton, N.R. Liend R. and Lunde J. (1974) Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support Rock Mech. 6 180 – 239.
- Bower, H. y R.C. Rice 1976. A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers rith completely or partially penetrating wells. Water Resources Research: 27, 3: 423-428
- Bower, H. 1989.The Bower and Ri ce slug test – Un update. Ground Water: 12: 304-309
- Cooper, H.H.; J.D. Bredehoeft y I.S. Papadopoulos 1967. Response of a finite diameter well to an instantaneous charge of water. Water Res. Research, 3: 263-269.
- Custodio, E. 1983. Hidráulica de captaciones de agua subterránea. In: Hidrología Subterránea, pp. 969-981.
- Custodio, E. 2001. Hidrología Subterránea. Segunda Edición. Ediciones Omega, S. A., Barcelona 2001.
- Chapuis, R.P. 1989. Shape factors for permeability tests in boreholes and piezometers. Ground Water, 27 (5):57-65.
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico. Lima-Perú. Ingemmet.
- Fetter, C. W. 2001. Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, 4ª ed., 598 pp
- Freeze, R.A. y J.A. Cherry 1979. Groundwater. Prentice-Hall.
- Gil Montes, 2005. Recursos Hidrogeológicos. 29 pág.

- González de Vallejo, L. 2004. Ingeniería Geológica. Madrid-España. Editorial Pearson Educación S. A.
- Hall, P. (1996) .- Water Well and Aquifer Test Analysis. Water Resources Pub., 412 pp.
- Hvorslev, M.J. 1951. Time lag and soil permeability in ground water observations. US Army Corps of Engineers Waterway Experimentation Station, Bull. 36.
- Jiménez Salas, J.A.; J.L. de Justo y A.A. Serrano. 1981. Geotecnia y Cimientos II: Mecánica del suelo y de las rocas. Ed. Rueda, 1188 pp.
- Londoño A., 2001. Cuencas Hidrográficas: Bases Conceptuales – Caracterización – Planificación – Administración. Ibagué 2001. 359 pág.
- Lugeon, M. 1933. Barrage et Géologie. Dunod. Paris
- Mace, R.E. 1999. Estimation of hydraulic conductivity in large-diameter, hand-dug wells using slug-test methods. Journal of Hydrology: 219: 34-45.
- Monsalve, S. G. 1999. Hidrología En La Ingeniería. Edit. Alfa Omega, 2da Edición.
- Navarro A. 2002. Conceptos Básicos De Hidrogeología, 9 Pág.
- Quiñones-Roza, C. 2010. Lugeon Test Interpretation, Revisited. In Collaborative Management of Integrated Watersheds, US Society of Dams, 30th Annual Conference: 405-414.
- Schwartz, F. W. & H. Zhang 2003. Fundamentals of Groundwater. Wiley, 592 pp.
- 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.