



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO  
RUKUS EN CHUPA - AZANGARO - PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. NIVARDO WILBERT CANAZA ESPEZUA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO - PERÚ**

**2020**



## **DEDICATORIA**

Lleno de regocijo, de amor y esperanza, dedico esta obra a mi querida Madre Elvira ESPEZUA ZAVALA, como muestra de mi eterno agradecimiento y aprecio.

A mi querida Esposa SONIA por el cariño que me brindas, por su comprensión y aliento en los momentos difíciles.

A mis queridos hijos Rafael y Romel que son la razón de mi vida, los cuales me impulsan a superarme cada día.



## AGRADECIMIENTO

En el presente trabajo de investigación, me gustaría agradecer, A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica en donde realice mis estudios Superiores, a los Docentes por haberme impartido sus sabias enseñanzas, con especial deferencia a mi asesor, a los administrativos y compañeros; Y por sobre todo a Dios por darme la vida y gran oportunidad de dar este logro en mi vida profesional.



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 13**

**ABSTRACT..... 14**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 15**

**1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA ..... 16**

**1.3 JUSTIFICACIÓN..... 16**

**1.4 ANTECEDENTES..... 16**

**1.5 HIPÓTESIS..... 18**

**1.6 OBJETIVOS ..... 18**

1.6.1 Objetivo General ..... 18

**1.7 VARIABLES ..... 18**

1.7.1 Variable Independiente ..... 18

1.7.2 Variable Dependiente..... 18

1.7.3 Objetivos Específicos..... 18

**1.8 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN..... 18**

1.8.1 Alcances ..... 18

1.8.2 Limitaciones..... 19



## CAPITULO II

### REVISION DE LITERATURA

<b>2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....</b>	<b>20</b>
2.1.1 Formación Huancané (Ki-hn). ....	20
2.1.2 Grupo Moho (KIS-MO) .....	21
2.1.3 Grupo Vilquechico (KS-vi).....	22
2.1.4 Formación Auzangate (KSP-AU).....	25
2.1.5 Formación Azángaro (NQ-az).....	25
2.1.6 Depósito Aluvial: (Qh-al).....	26
2.1.7 Depósitos Fluviales (QH-FL).....	27
<b>2.2 MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>27</b>
2.2.1 Hidrogeología.....	27
2.2.2 ¿Qué es la Hidrogeología? .....	28
2.2.3 El Agua y su Importancia.....	28
2.2.4 El Agua Subterránea .....	28
2.2.5 Ciclo del Agua.....	30
2.2.6 Elementos del Ciclo Hidrológico .....	32
2.2.7 Distribución del Agua en el Subsuelo .....	33
2.2.8 Los Acuíferos y sus Propiedades Físicas .....	34
2.2.9 Acuíferos .....	41
2.2.10 Movimiento del Agua Subterránea.....	44
2.2.11 Hidráulica de Pozos .....	47
2.2.12 Régimen Transitorio En Un Acuífero Libre .....	47



## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

<b>3.1 METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>51</b>
3.2.1 Características Geográficas .....	51
3.2.2 Prospección Geofísica .....	52
<b>3.3 PRUEBAS HIDRÁULICAS .....</b>	<b>59</b>
3.3.1 Prueba a Caudal Constante (Rendimiento) .....	60
3.3.2 Prueba de Bombeo a Caudal Constante .....	62

## CAPITULO IV

### RESULTADO Y DISCUSIÓN

<b>4.1 CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS DEL ACUÍFERO.....</b>	<b>64</b>
4.1.1 Geología Local .....	64
4.1.2 Hidrogeología.....	66
4.1.3 Geomorfología .....	68
<b>4.2 CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA .....</b>	<b>69</b>
4.2.1 Interpretación Geológica-Geofísica .....	69
4.2.2 Rendimiento Específico Del Pozo .....	74
4.2.3 Caudal Específico Del Pozo.....	74
4.2.4 Parámetros Hidráulicos .....	75
4.2.5 Análisis De Interferencia.....	76
4.2.6 Diseño Técnico Del Pozo.....	77
4.2.7 Prueba de Verticalidad .....	79
4.2.8 Instalación y Características de los Tubos y Filtros.....	80
4.2.9 Características De La Grava.....	81



4.2.10 Protección Sanitaria (Sello) .....	81
4.2.11 Instalación De Tubería De Protección De 8” .....	82
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>85</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>87</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	<b>88</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>93</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ciclo Hidrogeologico, adecuado de Hiscock & Bense, 2012.....	30
Figura 2.	La distribución del agua en las proximidades de la superficie terrestre, adecuado de Hiscock & Bense ,2012.....	31
Figura 3.	Ciclo Hidrogeologico agua, Perforaciones Hidrogeológicas, Auge, 2005 ..	33
Figura 4.	Agua en el subsuelo, Perforaciones Hidrogeológicas, Auge, 2005 .....	34
Figura 5.	Pozo en un acuífero libre y confinado,Manual de Agua Subterránea, Collazo & Montaña , 2012 .....	43
Figura 6.	Clasificación de los acuíferos según su porosidad, Manual de Aguas Subterráneas, Collazo & Montaña, 2012.....	44
Figura 7.	Curvas teóricas de tiempo - depresión en diferentes acuíferos, Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008 .....	49
Figura 8.	Metodología de estudio.....	50
Figura 9.	Sección geoelectrica-A-A' (INFORME DE RESULTADOS DE PROSPECCION GEOELECTRICO DE AGUAS SUBTERRANEAS PARA UBICACIÓN 2017).....	55
Figura 10.	Sección geoelectrica-B-B' (INFORME DE RESULTADOS DE PROSPECCION GEOELECTRICO DE AGUAS SUBTERRANEAS PARA UBICACIÓN 2017).....	55
Figura 11.	Registro del perfil litológico de campo.....	58
Figura 12.	Prueba descenso del nivel de agua.....	63
Figura 13.	Prueba recuperación del nivel de agua.....	63
Figura 14.	Correlación entre lo previsto y lo real .....	72
Figura 15.	Interpretación de la granulometría .....	73
Figura 16.	Diseño preliminar pozo exploratorio.....	79





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Inventario de aguas en la superficie terrestre, Hiscock & Bense.2012.....	31
Tabla 2.	Los sedimentos y sus Escala de clasificacion de su textura “Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008” .....	35
Tabla 3.	Rango de valores de la conductividad hidraulica y porosidad de los distintos materiales geologicos, Hydrogeology Principles, Hiscock & Bense, 2012	37
Tabla 4.	Tipos de rocas de acuerdo a Porosidad eficas, Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008 .....	38
Tabla 5.	Rango de valores de la conductividad hidraulica, Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008 .....	40
Tabla 6.	Rango de valores de la transmisivilidad asociados, Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008 .....	41
Tabla 7.	Accesibilidad al area de investigacion .....	52
Tabla 8.	Nro de SEV .....	54
Tabla 9.	Código y fecha muestras .....	57
Tabla 10.	Registro prueba de bombeo a caudal constante .....	61
Tabla 11.	Prueba de bombeo en ciclos de recuperaci3n .....	62
Tabla 12.	Resultados de SEVs .....	70
Tabla 13.	Ubicaci3n del punto m3s favorable.....	71
Tabla 14.	Caudal espec3fico del pozo .....	74
Tabla 15.	Radio absoluto y relativo .....	77
Tabla 16.	Registro instalaci3n de tuber3a .....	78
Tabla 17.	Registro de construcci3n del sello .....	82
Tabla 18.	Diseño de completaci3n del pozo .....	84



## ÍNDICE DE DE ACRÓNIMOS

INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
WGS84	: World Geodetic System 84
UTM	: Universal Transverse Mercator
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
M	: Metros
HAS	: Hectáreas
MM	: Milímetro
KM	: Kilometro
KI-HU	: Formación Hualhuani
KS-GD/MZ-LI	: Súper-Unidad Linga
KS-TI/TO-GD	: Granodiorita de Tiabaya
NM-MO	: Formación Moquegua
Q-AL	: Depósitos aluviales
DIP	: Buzamiento
DIP DIR	: Dirección de buzamiento
MG	: Magnetita
PPM	: Partes por millón
TN	: Tonelada
GR	: Gramos
Pot	: Potencia 13
Ki-hn	: Formación Huancané
KIS-MO	: Grupo Moho
KS-vi	: Grupo Vilquechico.
KSP-AU	: Formación Auzangate.



NQ-az	: Formación Azángaro.
Qh-al	: Depósito aluvial.
QH-FL	: Depósitos fluviales
Mm	: Milimitros
°C	: Grados centígrados
E	: Evaporación
Evt	: Evapotranspiración
Tr	: Transpiración (Tr)
I	: Infiltración
Es	: Escurrimiento superficial o escorrentía
k	: Conductividad hidráulica
T	: Transmisividad
n	: Porosidad
Vt	: Volumen total
Vi	: Intersticios
ENOHSa	: Ente Nacional de Obras Hidráulicas de Saneamiento
S	: Coeficiente de Almacenamiento
S'	: Porosidad Eficaz
c	: Resistividad Hidráulica
B	: Factor de Filtración
p/γ	: Altura de presión
z	: Elevación
L	: Distancia entre los puntos
h1	: Nivel piezométrico en el punto 1
h2	: Nivel piezométrico en el punto 2



Re	: Número de Reynolds
Msnm	: Metros sobre el nivel del mar
MT	: Magnetotelúrico.
SEV	: Sondeo eléctrico vertical
P	: Resistividad eléctrica en ohm-m
H	: Espesor del horizonte geoelectrico
R	: Horizonte geoelectrico.
UNSA	: Universidad nacional de san Agustín



## RESUMEN

La presente investigación se ha realizado en la zona Norte de Puno, en distrito de Chupa y en la micro cuenca de Rukus, siendo una necesidad indispensable para la población de rukus, establecer la relación que existe entre las características hidrogeológicas del acuífero Rukus y ubicar posibles zonas de perforación en el acuífero que se encuentra en la micro cuenca, la metodología a utilizar es la recolección de información inicial, luego continuar con la interpretación de la geología y la geofísica (SEVs), para luego ubicar el pozo de exploración y realizar el diseño del mismo en función de las pruebas de bombeo que se obtenga durante la perforación del referido pozo. Para el conocimiento del acuífero se ha realizado la prospección geofísica (SEVs) para la determinación de los diferentes horizontes con ello determinar el volumen total de agua en movimiento y la permeabilidad local. Estas propiedades obtenidas de los datos geofísicos y las pruebas hidráulicas como el bombeo, son las herramientas más confiables para determinar las propiedades hidráulicas del acuífero. Concluida la prueba de bombeo del Pozo Tubular Rukus, se procedió a ejecutar la prueba de acuífero, obteniéndose un caudal con rendimiento promedio de 3.20 l/seg., interpretándose siguiendo el método de aproximación logarítmica de THEIS Modificada por Jacob, con un espesor de acuífero de 27.10 m., en donde se ha calculado la transmisividad y permeabilidad

Palabras clave: Hidrogeología, Acuífero, Transmisividad, Conductividad, Prospección Geofísica, Horizontes, Rukus.



## ABSTRACT

The present investigation has been carried out in the northern area of Puno, in the district of Chupa and in the micro basin of Rukus, being an indispensable need for the population of Rukus, to establish the relationship that exists between the hydrogeological characteristics of the Rukus aquifer and locate possible drilling zones in the aquifer that is located in the micro basin, The methodology to be used is the collection of initial information, then continue with the interpretation of the geology and geophysics (SEVs), then locate the exploration well and make the design of the same based on the pumping tests obtained during the drilling of the referred well. For the knowledge of the aquifer, geophysical prospecting (SEVs) has been carried out to determine the different horizons and thus determine the total volume of water in movement and the local permeability. These properties obtained from geophysical data and hydraulic tests such as pumping are the most reliable tools to determine the hydraulic properties of the aquifer. Once the pumping test of the Rukus tubular well was concluded, the aquifer test was performed, obtaining a flow rate with an average yield of 3.20 l/sec, interpreted following the method of logarithmic approximation of THEIS Modified by Jacob, with an aquifer thickness of 27.10 m., where the transmissivity and permeability were calculated.

Key words: Hydrogeology, Aquifer, Transmissivity, Conductivity, Feophysical Prospecting, Horizons, Rukus.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

el agua subterránea es fundamental para la población urbana porque supone la mayor reserva de agua potable en las regiones habitadas por los seres humanos. a nivel global, el agua subterránea representa el 30% del agua dulce de la tierra (vandeurbie, 2005), de ahí la importancia de esta agua como reserva y recurso para las actividades de los seres humanos. por lo que el conocimiento de este recurso, su evaluación, explotación racional y conservación son de vital importancia y de gran valor para el consumo humano, así como el desarrollo agrícola, económico e industrial de una región. por lo tanto, la evaluación del agua subterránea ha sido una tarea que ha adquirido gran importancia en las últimas décadas en nuestro país, esto debido a la explosión demográfica que trajo como consecuencia un incremento en la demanda del recurso.

el estado actual del servicio de abastecimiento de agua potable en el poblado de rukus, en términos generales es precario en cuanto a calidad y cantidad, la principal fuente de abastecimiento de agua potable, son provenientes de manantes de agua subterránea, el cual es utilizado para dotar de agua potable a parte del poblado de rukus este manante que es captado para reservorio ha superado su capacidad de diseño, debido al incremento en la población.

con la finalidad de evitar la sobreexplotación y su contaminación, debido a su difícil renovación, se hace indispensable la realización de prospecciones hidrogeológicas que ayuden a comprender el comportamiento del agua subterránea, y diseñar planes de gestión.



## 1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

### Pregunta General

¿cuáles son las características geológicas e hidrogeológicas del acuífero de la micro cuenca de Rukus?

### Preguntas Especificas

¿Cuáles las características geológicas del acuífero del micro cuenca de Rukus?

¿Cuáles son las características hidrogeológicas del acuífero del Micro cuenca de Rukus?

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

Debido al excesivo crecimiento de la población en las últimas décadas en el país, se ha tenido la necesidad de sobreexplotar los recursos naturales con lo que se provoca escasez. Uno de estos casos es el aumento en la demanda del agua en el polbado de rukus, ya que ésta es indispensable para el sustento y desarrollo de las poblaciones.

Por todo lo mencionado previamente, se hace indispensable contar con información que permita cuantificar dentro de lo posible la disponibilidad que se tiene de este recurso para mantener este mismo régimen y tener una buena gestión del acuífero sin alterar el balance natural. De esta manera cubrir con la necesidad que presenta la población beneficiaria de esta manera satisfacer la necesidad social, al realizar el diseño técnico del acuífero de manera más precisa con la finalidad de no afectar con una sobre saturación del acuífero generando niveles negativos en los aspectos hidrogeológicos que estos se verán afectados de manera directa el medio ambiente de la zona.

## 1.4 ANTECEDENTES.

### CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE LA





ALDEA (GRAN CANARIA) los resultados ponen de manifiesto que el sistema está compuesto por dos unidades hidrogeológicas muy diferentes: los sedimentos aluviales con  $1100 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  y los basaltos miocenos con  $5 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ . el flujo hidráulico circula básicamente de este a oeste. los estudios de estadística multivariante de los datos hidroquímicos separan zonas con influencias diferentes, entre las que destacan, el barranco de tocodomán con aguas cl-mg de los basaltos, las cercanías de las tabladas con aguas muy salinas (c.e. $\approx 14000 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) y el centro del barranco de la aldea con contenidos muy altos de  $\text{NO}_3$  y  $\text{SO}_4$ , producto de los retornos de riego. los términos del balance indican que la recarga del sistema procede mayoritariamente de los retornos de riego, la infiltración de los barrancos y de la cumbre. los análisis isotópicos revelan confirman estos cálculos.( tesis doctoral presentada por Dña. Josefa Muñoz Sanz Universidad de las Palmas de Gran Canaria 2005).

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE CAMANÁ, SECTOR DE SAN GREGORIO, El agua subterránea, en la actualidad, viene siendo afectada por la presión humana, agravando su disponibilidad, los factores de presión son fundamentalmente la sobreexplotación del acuífero, y el deterioro en su calidad. Con base en el análisis geológico, geofísico, e hidrogeológico de la zona de la micro cuenca de la Ciudad de Camaná, distrito de San Gregorio, se estableció un caracterización del modelo hidrogeológico, para comprender el comportamiento del acuífero, con ayuda de la prospección geofísica basada en el método de Sondajes Eléctricos Verticales, lográndose identificar tres horizontes geo-eléctricos, el primer horizonte con un espesor aproximado de 7 metros aproximadamente , el segundo con un espesor 10 metros, y el tercero compuesto por materiales gruesos. Con información de la geología local el área de estudio se corrobora la presencia de rocas sedimentarias, e ígneas la unidad estratigráfica perteneciente al acuífero es origen aluvial, compuesto por materiales depositados de



grano fino. Los parámetros hidráulicos obtenidos en campo (Tesis Bachiller: Aguirre Ramos, Jesús Guillermo, UNSA Arequipa 2018)

## **1.5 HIPÓTESIS**

Las características geológicas e hidrogeológicas del acuífero son adecuados para la explotación en el Micro cuenca de Rukus.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 Objetivo General**

Caracterizar la geológica e hidrogeológicas del acuífero de la Micro cuenca de Rukus.

## **1.7 VARIABLES**

### **1.7.1 Variable Independiente**

Características Geológicas e hidrogeológicas.

### **1.7.2 Variable Dependiente**

Acuífero de la micro cuenca Rukus.

### **1.7.3 Objetivos Específicos**

- Describir características geológicas del acuífero del micro cuenca de Rukus
- Identificar las características hidrogeológicas del acuífero del Micro cuenca de Rukus

## **1.8 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.8.1 Alcances**

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de conocer las condiciones actuales, de la disponibilidad hídrica del acuífero en la micro cuenca Rukus, para un



aprovechamiento adecuado del mismo, de esta manera abastecer a la población.

### **1.8.2 Limitaciones**

La extensión del micro cuenca Rukus es considerable, pero se debe tener en cuenta que el área que engloba el presente estudio es solamente una localidad, la cual fue seleccionada debido a la información con la que se contaba de dicha área para poder realizar la caracterización hidrogeológica. Sin embargo muchos de los parámetros determinados en campo, sirven de base para una futura caracterización del acuífero en su área de extensión total, debido que hasta la actualidad los estudios realizados con respecto al acuífero son muy escasos.



## CAPITULO II

### REVISION DE LITERATURA

El presente capítulo aborda información recopilada bibliográficamente de la geología regional de la zona de estudio realizada del sector Chupa, también se ha recopilado información de conceptos básicos de hidrogeología teniendo en cuenta el tipo de acuífero presente en la zona de estudio.

#### 2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

el marco geológico regional distingue una variada gama de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas cuyas edades varían desde el paleozoico al cuaternario reciente. los afloramientos que cubren las mayores extensiones en el área pertenecen al cenozoico y siguen en orden descendente a las formaciones correspondientes al mesozoico y paleozoico.

la región circunlacustre, durante el tiempo geológico ha estado sometida a movimientos tanto epirogénicos como orogénicos, actualmente representados por un gran número de estructuras tectónicas que pliegan y fallan las rocas alterando su posición original.

##### 2.1.1 Formación Huancané (Ki-hn).

El nombre de esta formación fue introducido por (NEWELL 1945; 1949) dando una buena sección tipo, en el presente estudio la mejor sección se ha dado a Cerro Viscachane, al sur de Huancané.

La Formación esta situada en un sector en el borde NE del Lago Titicaca donde el afloramiento está dilucidado rutinariamente esto por el fallamiento inverso de alto ángulo. Esto sobre la Formación Muni donde podemos ver una persuaptible degradación rápida



de una secuencia fangolítica a una sucesión netamente de areniscas cuarzosas. El Porcentaje de efectividad o potencia es estimada entre 400 y 500 m. y evidenciamos que adelgaza localmente a 250 m. en el NO del cuadrángulo de Huancané en el Cerro Huayncare. En profundidad al NE del afloramiento, parece que la Formación está solapada por las Formaciones Moho y Arenisca Cotacucho (NEWELL, et, al, 1949).

El valor del ángulo de buzamiento que esta en intervalo de  $30^\circ$  y  $60^\circ$ , esto permite afloramientos son la silueta de espinazos lineares abruptos hasta de 400 m. de altura. Por inmediaciones de entre Huancané y Moho existe 2 escarpaduras principales los mismos que cuentan con un sector valle entre ellos, esto por la erosión de una capa que cuenta o que tiene un cemento más ligero. Cuando decimos fotogeológica es el termino mas adecuado sin embargo por el sector de las areniscas visualizamos que no cuenta con una capa bien cementadas por lo que ocasionalmente se les confunden y por ello le cambian de descripción a uno como es “fangolítica”.

Esta formación podemos visualizar 3 sectores litológicos; conglomerados con estratificación de canal los mismos que generalmente se encuentran en la parte central de la sucesión de areniscas cuarzosas con detalles de estratificación cruzada, conglomerados asintóticos ordenados en unidades de entre 2 a 5 m. de grosor; y por ultimo tenemos areniscas lajosas con estratificación de canal con unidades ordenadas de menos de 2 m. de grosor. Por todo esto y/o este ordenamiento de capas entrelazadas usadas para decretar la polaridad de las capas en todo el contexto de las exposiciones (Proyecto Integrado del Sur, 2002).

### **2.1.2 Grupo Moho (KIS-MO)**

Descrito por (NEWELL; 1945) como “Grupo Moho”, esta unidad estratigráfica se restringe a las facies sedimentarias de la Cordillera Oriental, también forma cuerpos alargados con orientación noroestesureste. (PALACIOS et. al, 1993) denomina a esta



unidad como Formación Moho, así en una nueva descripción y correlación litológica describe que, esta formación está dominada por limolitas y fangolitas abigarradas con estratificación delgada, laminación en rizaduras y horadadas teniendo varios rasgos persistentes formados por areniscas cuarzosas con estratificación cruzada usualmente entre 20 a 50 m. de grosor. (PALACIOS et. al, 1993) dice que la parte basal de la secuencia está dominada por sedimentos de color marrón rojizo de grano fino y en la parte media es mayormente limolita y fangolita color caqui gris y marrón. Fangolitas calcáreas delgadas con lignito aloctono y capas fósiles esparcidas que se encuentran en la parte media aunque en muchas localidades los sedimentos de grano fino parecen estar cortados por una gruesa secuencia de areniscas con estratificación cruzada, al tope se retorna a una litología compuesta de fangolitas y limolitas rojas (PALACIOS et. al, 1993). (CHAVEZ, et. al, 1996) en una columna estratigráfica medida en la falda NE del Cerro Huilachaca margen derecha de la Quebrada Viluyo (90 m grosor), menciona que este grupo es de una coloración rojiza. Se trata de areniscas muy finas, siltitas y paquetes de lutitas rojas laminares; los bancos de areniscas y siltitas tienen grosores que varían entre 1-2 m (CHAVEZ, et. al, 1996). La estructura interna son generalmente dunas de 3 a 5 cm; otras veces, son alternancias de laminaciones milimétricas y dunas de 3 a 5 cm de longitud de onda (CHAVEZ, et. al, 1996). En la parte inferior contiene una intercalación de un par de delgados bancos de 40 y 70 cm de dolomitas de color amarillento (CHAVEZ, et. al, 1996).

### **2.1.3 Grupo Vilquechico (KS-vi).**

El Grupo Vilquechico ha sido estudiado con bastante detalle por (Jaillard et al. 1993), quienes redefinieron su estratigrafía. En el mismo que contamos con observaciones objetivas con respecto a sus facies, y determinamos por lo general por estudios previos. Así mismo mencionando también al Grupo Vilquechico este se encuentra situado superpuesto a la formación Ayabacas, concretando los olistolitos



caóticos que son peculiaridad de este mismo, y debajo de esta tan conocida Formación Muñani.

El Grupo Vilquechico comprende tres formaciones, hasta ahora referidas como Formación Vilquechico Inferior, Formación Vilquechico Media y Formación Vilquechico Superior (Jaillard et al. 1993).

En función de su posición estratificada y con un preponderante característica así como unas facies notorias, estas fangolitas se estacionaron en esta ubicación de esta explanada aluvial barreal (mud flat), también conocidos como pequeños lagos y/o marino temporal o efimero.

Continuado con esta mencionada Formación Vilquechico Inferior podemos considerar o concluir que es normalmente o por lo general pelítica. Ya que podemos contarnos con una apariencia mezclada que es por la interstratificación de pelitas de color rojizo las cuales son el color mas preponderante y de pelitas de un color verdoso oscuro. Por la parte de intersección o medio del NE de la tan conocida faja de Putina, la Formación Vilquechico Inferior también podemos visualizar por la parte baja un sector arenoso de textura espesa de menos de medio centenar de metros los mismos que se hallan determinados de areniscas arcillosas rojizas, y sin una estratificación básica para no decir tosca en contenedores plurimétricos. Así mismo estos sectores con determinación de areniscas concretan la Formación Ayabacas por todo el sector, y son superpuestas a la unidad denominada Yanaoco esto por los alrededores de Huatasane. Por la parte superior están compuestas principalmente o tienen las características de las pelitas típicas de la Formación Vilquechico Inferior.

La formación Vilquechico por la parte de en medio dista ampliamente de la Formación Vilquechico Inferior ya que existe una separación sedimentaria sencilla la misma que cuenta con una característica y/o apariencia plana y esta formada



prioritariamente de un material arenoso de al menos 15 metros de grosor, por lo general podemos notar que se encuentra estratificado ligeramente podemos decir que es estratocreciente. Por sobre este sector de la formación vilquechico no mas de medio centenar de metros notamos que cuenta con facies pelíticas verde grisaseas, por este sector notamos principalmente lutitas negras las mismas que muestra finamente intercalaciones carbonatadas. Sectores arriba, esto continua las intercalaciones depelitas verde rojizas. Por todo el sector alto de la formación notamos que cuenta con una intercalación plurimétrica estos puntos de vista por la formaciones carbonatadas y margosas que por lo general son bancos de fósiles marinos y esto es considerado algo poco frecuente o colocoquialmente considerado una transgresión. Por sus puntos de vista de formación, las lutitas negras que encontramos en la parte de abajo de la unidad son también considerados una explanada de inundación final, que con ello consideraríamos acabaría la transgresión que inicio en la base y/o origen de la unidad. Ambas transgresiones nos ayudan de una maneral fundamental para la determinación de conclusiones de las correlaciones.

En todo el sector final y /o por al parte superior de la Formación Vilquechico esta completamente separada o dista bastante de la parte media de dicha formación esto por una frágil línea por la que pierde la continuidad erosiva. En este mismo sector visualizamos prioritariamente un factor arenoso el mismo que determinamos en un intervalo de 15 a 20 metros de grosor, fácilmente observamos estrechos con facies de entrecruzamiento por un origen de lluvias. Por la parte alta notamos pelitas claramente identificado por un color verde oscuro los mismo que cuentan con ligeros sectores de areniscas sutiles, Por lo general cuarcíticas. Ya por el ultimo medio centenar de metros notamos que las pelitas se tornan violáceas. Por la mismas observaciones de forma notamos que son de origen fluviales, por la parte central claramente el material preponderante es arenoso basal sobresale por sus fuertes pelíticos los mismo que son





incrustados, con esto se nota la difurcacion a el sector bajo del nivel de base y con todo ello concluimos que una regresion.

#### **2.1.4 Formación Auzangate (KSP-AU).**

Esta formación principalmente es compuesta por rocas de origen sedimentario clástica los mismos que tiene características claras como es que cuentan con un grano medio compacto, o conocidas comúnmente como “Areniscas Arcósicas, Lodolitas Y Limoarcillitas De Coloración Rojiza”. Estos mismos son notorios en sectores y/o cuadrangulos tales como Nuñoa asi como Macusani tambien Azángaro algunos sectores de Putina y Moho Todo estos sacados de la carta geológica nacional. Toda esta formación se cuenta al costado occidental de nuestra Cordillera Oriental, de manera estratificada con dirección al NE.

#### **2.1.5 Formación Azángaro (NQ-az).**

Fue inicialmente descrita por (NEWELL 1949). Posteriormente, (KINCK A., ALISON R. Y PALACIOS O. ET AL 1993): En este meciona que la formación azangaro considerado asi por el autor se encuentra al Sur según la carta geológica nacional Cuadrángulo De Putina, todo esto ubicado también en valle que lleva el mismo nombre de Putina. Asi mismo el autor menciona que pordemos hallarla en la depresión de Muñan-Inchupalla, visualizándolo exóticamente en cortes de ríos. Por el sector de valle del rio de Putina, estos sectores principalmente cuentan con material de areniscas finas, siltitas de color Rojo y tono Beige, en tramos de entre 30 y 40 cm, ocasionalmente podemos encontrarlo en tramos de hasta 1 y 2 m. Podemos ver claramente una znoa florida por todo el sector de Muñani- Ichupalla. Tambien menciona se encuentra estratificado sectores de fango de lutitas negras carbonosas. El autor menciona que no se puede dilucidar la base de dicha formacion; pero eso si, en el río Putina, los depósitos pueden llegar a medir o contener depósitos de 20 cm e incluso mas.



Las características sedimentarias de esta Formación, indican un ambiente continental lacustre y de llanuras de inundación, (Klink A. Allison R. y Palacios O. et al., 1993), aseguran una edad plio-pleistocénica para esta Formación.

#### **2.1.6 Depósito Aluvial: (Qh-al).**

Son así denominados las micro cuencas que son contenedores de grava pimicticas con un material mayormente arenosa, las mismas que forman valles quebradas y/o sectores o superficies subhorizontales.

Todo esto podemos hallarlo generalmente por la parte central de la region, notamos también que se hallan en sectores de suave pendiente. Fue descrita por primera vez por (NEWELL, 1949) como “depósitos lacustres del Río Azángaro” y (PALACIOS et. al, 1993) lo eleva al rango de formación, habiendo tomado como área tipo al Río Azángaro.

En el Río Cabanilla por algunos lugares, contamos con una descripción de las rocas que cuentan con capas de Barro (limo) de 0,5 a 0,9 m. interrelacionadas frecuentemente gravas arenosas estos mismos contienen guijarros en capas de 0,8 - 1.3 m. de grosor que por lo general tienen la forma subangulares a angulares. Todo este sector de la formación azangaro predomina ya que fue lacustrico. Y según la carta geológica por los cuadrantes de Juli y Cabanillas son mas frecuentes las gravas y areniscas, y esto como parte del terro de dichas formaciones.

Chavez, et. al, (1996), en el micro cuenca del Río Putina describe estos depósitos que están compuestos por areniscas finas, siltitas de color beige y rojizo en bancos de 30 a 40 cm. No siempre podemos encontrarlos en tramos macizos de 1 a 2 m. Por lo general notamos la presencia de vegetación plantas algunos sectores de los ríos(cortes).

Hasta el momento no se llego a dislucidar la Base; pero eso si, por la zona del Río



de Putina, el ancho de estas tramas sobrepasan los 20 cm. Las características sedimentarias de esta formación indican un ambiente continental lacustre y de llanuras de inundación (CHAVEZ, et. al, 1996). (Proyecto Integrado del Sur, 2002).

Generalmente podemos caracterizarlos por fango o limos, areniscas cuarzosas así como calcáreas y estos presentan una estratificación enredada. Todo esto ubicado halla por la la laguna Luncha (Juliaca) y el cerro Alarcón. Y también consderamos que cuenta con una potencia aproximada de 100 m.

### **2.1.7 Depósitos Fluviales (QH-FL)**

Definidos así en la actualidad a los depósitos generalmente compuestos por gravas y arenas, todo esto por lo general ubicado en el fondo de los ríos; todo estos bancos podemos hallarlos en sectores donde la afluecnia de los ríos es variable. Todo este cemento generados por la baja del caudal de los ríos que a diferencia de el flujo de una rio de caudal normal. Nuestra region los ríos como : Rio Suches , Rio Coata, Rio Ramis, así otros. es son valuados por el sedimento que acarrear estos mismos rios.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Hidrogeología**

La hidrogeología es considerada como una parte principal de la geología, así podemos decir que estudia el ciclo de las aguas tanto superficiales y subterráneas, también decimos que la hidrogeología estudia su prospección, captación y protección del agua.

"la hidrología es fundamental para asegurar la supervivencia de las poblaciones de zonas muy áridas o de alta concentración humana e industrial"

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, bajo la superficie de la Tierra, tanto en el suelo como en el subsuelo ya que, convencionalmente, el término superficie terrestre incluye cierto espesor



como se señala en el artículo respectivo, al ser un concepto ...(Cuesta, n.d.)

### **2.2.2 ¿Qué es la Hidrogeología?**

“La hidrogeología trata del estudio integral del agua subterránea, su distribución y evolución en tiempo y espacio en el marco de la geología regional.

La Geohidrología se encarga de estudiar el comportamiento del agua en el ambiente geológico según las leyes de la hidráulica. Comprende la hidráulica de pozos, es decir de perforaciones para obtener agua con diferentes fines y el control de su comportamiento en el entorno, según el tipo de material perforado.

Ambas especialidades correlacionan la información geológica regional y local, superficial y del subsuelo para contribuir al aprovechamiento óptimo del agua subterránea en beneficio del desarrollo sustentable.” (Grupo de Gestion de Recursos Hidricos, 2012)

### **2.2.3 El Agua y su Importancia**

La importancia del agua es tan grande y lo fue así desde tiempo del inicio de la tierra, ahora nosotros los seres humano le debemos a ella el lograr establecerse en zonas específicas ya que podemos habitar zonas con agua para el progreso de la vida. También decimos que es el principal y/o fundamental compuesto de vida ya que forma del 50 al 90% de la masa de los organismos.

Una de las características del agua es su punto de congelación el cual es de 0°C así mismo tenemos también su punto de ebullición de 100 °C; otra característica es la presión atmosférica que es 760mm ; y finalmente podemos decir que a 4°C su densidad máxima será alcanzada.

### **2.2.4 El Agua Subterránea**

El agua subterránea es como su nombre lo dice el agua que podemos hallar por



debajo de la superficie terrestre, esta misma encerrada cuenta una presión igual o mayor que el agua que hallamos en la superficie, esta misma puede que este en movimiento o se almacene en sectores rocosos.

También decimos que el agua subterránea podemos encontrarla en espacios abiertos así pues tenemos hendiduras entre los cristales o granos, fallas, diaclasas, contactos litológicos y otras difurcaciones, también podemos encontrar el agua subterránea así como en cavidades en las rocas que por razones de enfriamiento, disolución o intemperismo contienen contenedores donde pueden servir de receptáculos de agua.

El agua subterránea ya sea su movimiento así también su almacenamiento están definidos por el espesor, la textura y la estructura de las rocas que son parte de la corteza terrestre, así como la maravillosa capacidad física que cuenta el agua que poder transitar a través de un medio permeable.

Por último tenemos que el desequilibrio originado por la interacción de las diferentes fuerzas, como las presiones diferenciales y la gravedad, todos estos afectan que el agua subterránea se mantenga en movimiento constante, creando depósitos que abastezcan a pozos y manantiales así como la maravillosa manera de alimentar ríos o lagunas en los periodos de sequía.

“El agua subterránea en una circulación sobre la corteza terrestre, el agua subterránea reacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Por todo esto determinamos que los componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son: carbonatos de sodio, cloruros, sulfatos, potasio, calcio y magnesio.” (PRICE, CARRILLO, & CARDONA, 2003)

### 2.2.5 Ciclo del Agua

Un comienzo útil, para un enfoque holístico para vincular el agua subterránea con el agua superficial es adoptar el ciclo hidrológico como un marco de referencia único. El ciclo hidrológico representado en la fig. 1, puede ser pensado como una continua circulación del agua cerca de la superficie terrestre del océano a la atmosfera y luego vía precipitación, escorrentía superficial y flujo de agua subterránea vuelve al océano. El calentamiento por radiación solar causa la evaporación del agua en la atmosfera y transportada por los vientos terrestres donde el vapor se condensa y cae como precipitación. La precipitación también retorna directamente al océano, interceptada por superficies con vegetación y retorna a la atmosfera vía evapotranspiración, recolectando para formar la escorrentía superficial, o infiltrada dentro del suelo. La escorrentía superficial y el flujo de agua subterránea contribuyen a las corrientes superficiales y a los ríos que fluyen al océano. ( HISCOCK & BENSE, 2012, p.12).

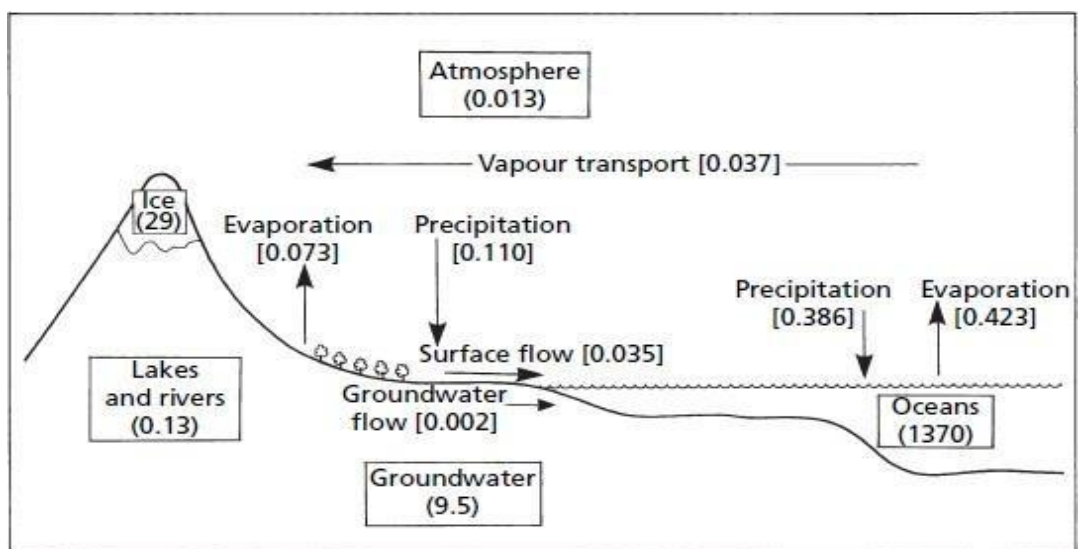


Figura 1. Ciclo Hidrogeológico, adecuado de Hiscock & Bense, 2012

Tabla 1. inventario de aguas en la superficie terrestre, Hiscock & Bense.2012

Reservorio	Volumen	Porcentaje total
Océanos	1370	97.25
Glaciares y casquetes polares	29	2.05
Agua subterránea profunda (750-4000 m)	5.3	0.38
Agua subterránea poco profunda(<750m)	4.2	0.30
Lagos	0.125	0.01
Humedad del suelo	0.065	0.005
Atmosfera <sup>1</sup>	0.013	0.001
Ríos	0.0017	0.0001
Biosfera	0.0006	0.00004
1.1. Total	1408.7	100

Del total del agua del ciclo global, El agua salada en los océanos cuenta con un 97.25%.

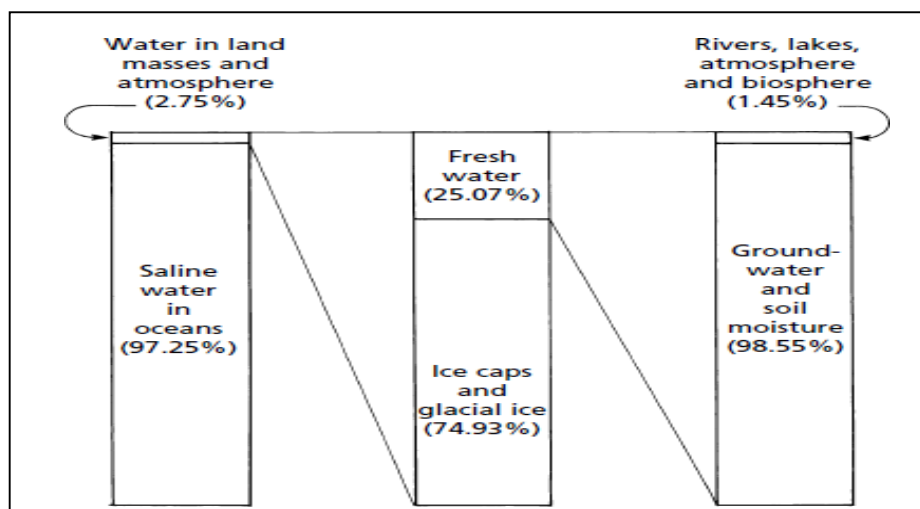


Figura 2. La distribución del agua en las proximidades de la superficie terrestre, adecuado de Hiscock & Bense ,2012



Solo una pequeña cantidad de agua dulce ( $< 0.3\%$  del total del agua) es fácilmente disponible para la especie humana y otras especies. (Hiscock & Bense, 2012, p.21)

### 2.2.6 Elementos del Ciclo Hidrológico

**Precipitación:** La precipitación es un fenómeno discontinuo y sumamente variable en el espacio y en el tiempo. La precipitación podemos describirla por 3 tipos de lluvia: ciclónica y orográfica, convectiva y / o frontal

**Evaporación (E):** La evaporación es el estado del agua que básicamente es la transformación de agua líquida a vapor.

La causalidad básica de la evaporación, es la presencia de la calor solar. Para el movimiento del mismo influye el viento la cual mueve el agua evaporada evitando con ello la condensación de la misma. La transpiración así como la evaporación son consideradas variables de alta significancia para la hidrológica, ya que estos son procesos constantes por todo el mundo. Cuando este proceso sucede dentro de la superficie se genera un desequilibrio ya que las aguas que se van a evaporar de una profundidad mayor esto por lo general ocurre en lugares de poca vegetación y este proceso se da por capilaridad

**Transpiración (Tr):** La Transpiración es un fenómeno biológico y físico donde el agua líquida se vaporiza por el metabolismo de las plantas, animales y/o seres humanos. El agua que encuentran alrededor de una planta ya sea en el suelo y alrededor penetra por los pelos absorbentes de las raíces todo esto conocido como el proceso de ósmosis y llega a los vasos del tallo.

**Infiltración (I):** Se llama infiltración efectiva cuando el agua pasa de la superficie al subsuelo, esto mismo porque el agua supera una zona de aireación.

**Esguerramiento superficial o escorrentía (Es):** El agua de lluvia que ni se infiltra ni se evapotranspira, escurre superficialmente, llegando a los cursos por cuatro vías



diferentes: superficialmente, sub-superficialmente (escurrimiento hipodérmico), subterráneamente (escurrimiento subterráneo) y directamente (Auge, 2005, p. 3-4)

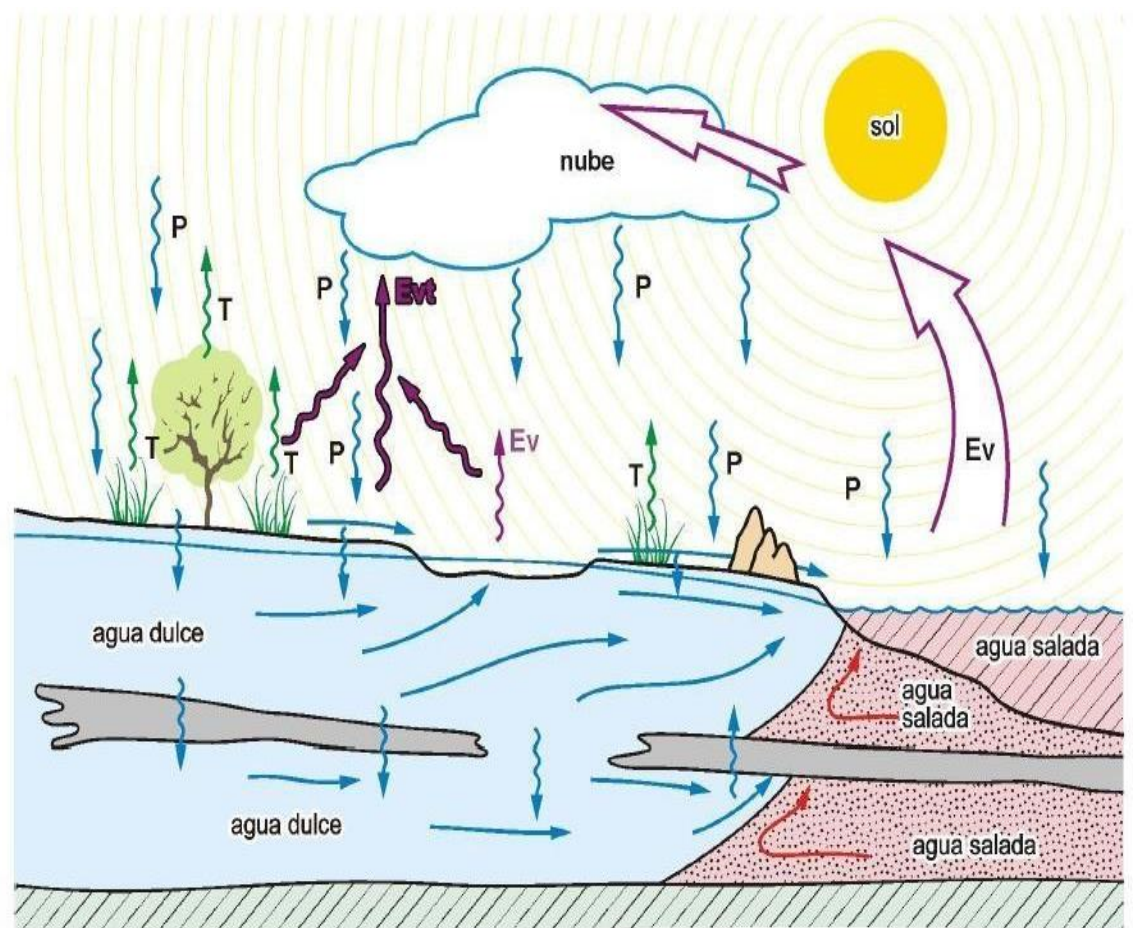


Figura 3. Ciclo Hidrogeológico agua, Perforaciones Hidrogeológicas, Auge, 2005

### 2.2.7 Distribución del Agua en el Subsuelo

Por debajo del suelo se distinguen dos zonas con comportamientos hidráulicos diferentes (subsaturada y saturada).

Se denomina zona saturada o subsaturada cuando esta misma se ubica muy por encima de la capa superior o ras del suelo también denominado superficie así mismo se le puede encontrar en 3 estados más conocidos de la materia que son sólido, todo esto se genera muy por debajo de la superficie de suelo o también considerada freática y esta a diferencia

existe solo en estados líquido y sólido. Todo esto es considerado comúnmente como agua subterránea, porque de esta es de donde los pozos de frecuente uso son captados.

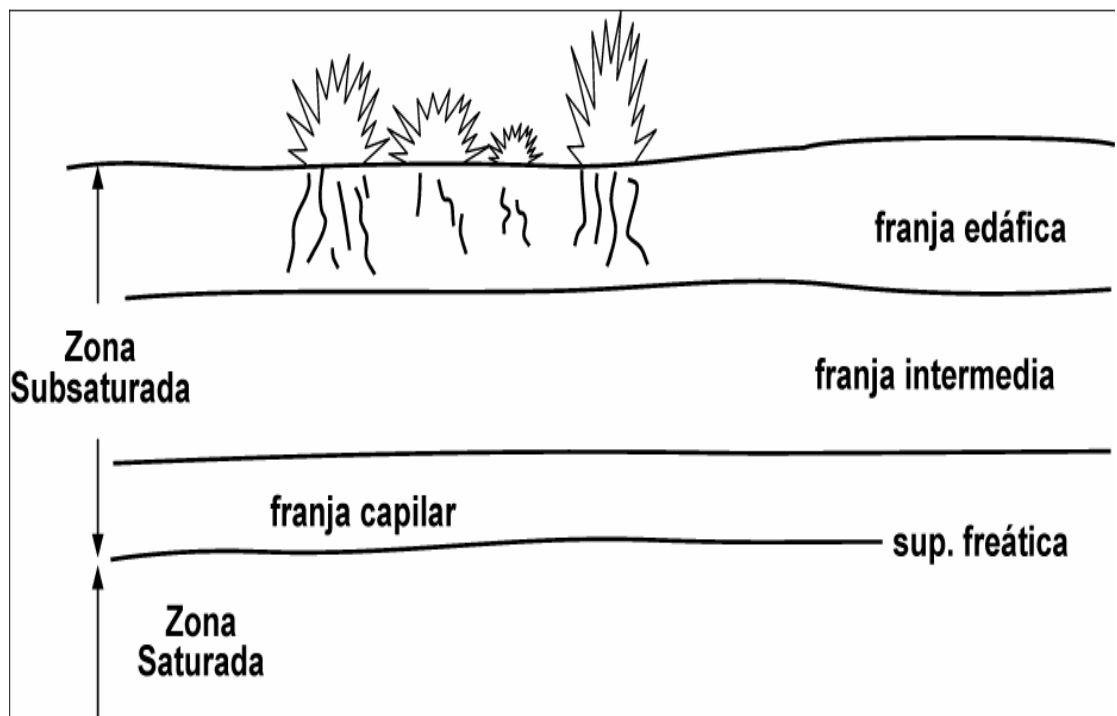


Figura 4. Agua en el subsuelo, Perforaciones Hidrogeológicas, Auge, 2005

### 2.2.8 Los Acuíferos y sus Propiedades Físicas

Que son los acuíferos? Pues iniciaremos describiendo donde podremos localizarlos por lo general se alojan en las grietas o espacios vacíos de cual terreno geológico. De esta manera estos espacios también actúan como contenedores y/o conductos, y estos cumplen la función de transmisión así como de almacenaje de agua subterránea.

Por lo general podemos determinar la velocidad de la circulación del agua subterránea o podemos decir que tiene una proporción exponencial del gradiente hidráulico, esto a su vez es un producto de una constante la cual se conoce como conductividad hidráulica.

Sedimentos y sus Texturas



La textura de los sedimentos tienen ciertas características que detallamos a continuación esto determinado por el tamaño del grano (y su distribución).

Todo esto está determinado por medio de un análisis mecánico, por tamizado del sedimento frecuentemente por tamices superpuestos para hallar las cantidades (en peso) correspondientes a las diferentes fracciones de tamaño que existen.

Tabla 2. Los sedimentos y sus Escala de clasificación de su textura “Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008”

Denominación	Tamaño (mm)
Aglomerado	>256
Grava gruesa	256-64
Grava mediana	64-16
Grava fina o gravilla	16-4
Arena muy gruesa	2-1
Arena gruesa	1-0.5
Arena mediana	0.5-0.25
Arena fina	0.25-0.125
Arena muy fina	0.125-0.0625
Limo	0.0625-0.0039
Arcilla	<0.0039

#### Porosidad (n)

Como podemos determinar la porosidad de una roca o también conocida en geología como sedimento este mismo es una medida de las ranuras y/o espacios que se denominan intersticial. Si denotamos  $V_t$  como el volumen total de un material y este se



calcula por la adición del  $V_s$  volumen sólida con  $V_i$  intersticios o parte porosa, concluiremos que la porosidad se calcula por la proporción que hay entre el  $V_i / V_t$ , o sea

$$\text{Porosidad (n)} = V_i/V_t$$

Ahora por ser una división de una parte entre un todo puede ser expresado en decimales o en porcentaje.

Frecuentemente la porosidad que tiene un valor por encima de 0.20 se le denomina porosidad Grande, y si su valor se encuentra en el intervalo de 0.05 a 0.20 lo consideraremos porosidad media y finalmente si el valor es por debajo de 0.05 se considera porosidad pequeña.

En términos geológicos considerariamos que es un deposito sedimentario que por lo general no esta consolidado todo esto en factor primero : (forma, asi como de la disposición y finalmente por el grado de sus partículas ) y segundo pero no menos importante el tamaño de grano. Los que cuentan con porosidad Mayor por lo general presentar una suelen tener grano fino y contrariamente los de grano grueso presenta una porosidad menor esto no influye en otros tipos como son la grava que a diferencia de su tamaño puede tener la misma porosidad que la arena.



Tabla 3. Rango de valores de la conductividad hidraulica y porosidad de los distintos materiales geologicos, Hydrogeology Principles, Hiscock & Bense, 2012

Material Geológico	Conductividad Hidráulica $K (m s^{-1})$	Porosidad, n
Depósitos fluviales (aluviales)	$10^{-5} - 10^{-2}$	0.05- 0.35
Depósitos glaciares		
-Tillita basal	$10^{-11} - 10^{-6}$	0.30-0.35
-Limo lacustrino y arcilla	$10^{-13} - 10^{-9}$	0.35-0.70
-Arenas y gravas	$10^{-7} - 10^{-3}$	0.25-0.50
-Loess	$10^{-11} - 10^{-5}$	0.35-0.50
Arenas	$10^{-10} - 10^{-5}$	0.05-0.35
Pizarra		
-no fracturada	$10^{-13} - 10^{-9}$	0-0.10
-Fracturada	$10^{-8} - 10^{-5}$	0.05-0.50
Lutita	$10^{-11} - 10^{-6}$	0.35-0.45
Dolomita	$10^{-9} - 10^{-5}$	0.001-0.20
Caliza Oolítica	$10^{-7} - 10^{-6}$	0.01-0.25
Creta		
-Primaria	$10^{-8} - 10^{-5}$	0.15-0.45
-ecundaria	$10^{-5} - 10^{-3}$	0.005-0.02
Caliza coralina	$10^{-7} - 10^{-6}$	0.30-0.50
Caliza karstificada	$10^{-6} - 10^0$	0.05-0.50
Mármol fracturado	$10^{-8} - 10^{-5}$	0.001-0.02
Tufo volcánico	$10^{-7} - 10^{-5}$	0.15-0.40
Lava Basáltica	$10^{-13} - 10^{-2}$	0-0.25
Rocas ígneas y metamórficas	$10^{-13} - 10^{-5}$	0-0.10
-Fracturadas y no fracturadas		

### Coefficiente de Almacenamiento (S)

Como concepto de que es el coeficiente de almacenamiento tenemos que es la

medida de agua liberada de un determinado acuífero hacia la superficie o también por la transibilidad o descenso en el nivel de piezométrico todo esto frene a la superficie perpendicular. El resultado de esta división no tiene dimensión.

Los acuíferos que son denominados confinados su valores típicos se encuentran entre 0,3 a 0,01. Esto se debe a que en un acuífero confinado el agua no es liberada por el drenaje de los intersticios sino por la compresión del acuífero, en particular de las capas de arcillas y limos intercaladas, (por eso también denominado coeficiente de almacenamiento elástico), y todo el material acuífero permanece saturado. (ENOHSa, 2008, p.6)

#### Porosidad Eficaz ( $S'$ )

En el momento que es drenado el agua de una material Saturado ya sea por la fuerza de gravedad, o simplemente sea liberado ya sea todo o tan solo una parte del volumen total que se encontraba almacenado.

En la siguiente tabla tenemos algunos tipos de roca de acuerdo a su porosidad eficaz:

Tabla 4. Tipos de rocas de acuerdo a Porosidad eficas, Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008

Arcilla	1-10%
Arena	10-30%
Grava	15-30%
Grava y arena	15-25%
Arenisca	5-15%
Lutita	0.5-5%
Caliza	0.5-5%



Parte del agua es retenida en los poros por fuerzas de atracción molecular y de capilaridad y la cantidad de agua que una unidad de volumen de un acuífero libre retiene después del drenaje gravitacional se denomina retención específica. Esta es mayor en sedimentos finos, de manera que éstos tienen una porosidad eficaz menor que sedimentos gruesos, aunque ambos puedan tener la misma porosidad.

La suma de la porosidad eficaz y la retención específica es igual a la porosidad de un acuífero; ambas se expresan en porcentajes o fracciones decimales. La porosidad eficaz de un acuífero libre varía entre 0.01 y 0.30 y en la práctica es igual a su coeficiente de almacenamiento. Es decir, la cantidad de agua entregada por unidad de superficie del acuífero y por unidad de descenso del nivel freático. (En rigor el coeficiente de almacenamiento de un acuífero libre es igual a la suma de su porosidad eficaz y de su coeficiente de almacenamiento elástico, pero este último es completamente despreciable frente a la primera).

#### Conductividad Hidráulica (K)

También llamada coeficiente de permeabilidad, se refiere a la capacidad de un material poroso de transmitir agua y se define como el volumen de agua que se mueve a través de un medio poroso en la unidad de tiempo bajo la unidad de gradiente hidráulico y a través de la unidad de sección transversal perpendicular a la dirección de flujo. Tiene las dimensiones de longitud/tiempo. Depende del tamaño y la forma de los intersticios, del grado de su interconexión y de las propiedades físicas del fluido. En un sedimento más o menos grueso y/o bien seleccionado la conexión entre poros es buena y la permeabilidad grande. Las propiedades físicas del agua varían con la temperatura, y la conductividad hidráulica es definida sobre la base de la viscosidad y densidad a una cierta temperatura, normalmente 20° C.; la compresibilidad del agua es despreciable. (ENOHSa, 2008, p.7)

Tabla 5. Rango de valores de la conductividad hidraulica, Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008

K (m/día)	Calificación estimada
$K < 0.01$	Muy Baja
$0.01 < K < 1$	Baja
$1 < K < 10$	Media
$10 < K < 100$	Alta
$K > 100$	Muy Alta

#### Transmisividad (T)

La Transmisividad es directamente esta cercanamente relacionada a la porosidad eficaz esto quiere decir q es el hecho de transmitir agua pero a diferencia este espor todo su espesor y esto casualmente es igual al producto de determinar la conductividad hidráulica con el espesor saturado del acuífero. En conclusión resultaría q es el caudal por efecto de un bajo flujo y un gradiente unitario todo esto por emdio de una sección transversal de ancho unitario. Este cuenta con un tamaño determinado por  $L^2 / T$  lo que seria expresado por Longitud al cuadrado sobre Tiempo, asi como metro cuadrado sobre dia  $m^2 / d$ . Todo esto puede calcularse y variar entre menos de  $10 m^2/d$  (metros cuadrados / dia) a más de  $10.000 m^2/d$ . Para los pozos domesticos tendría que ser un acuífero menor de  $10 m^2/d$  o también considerados de bajo caudal. Contrariamente si es mayor a  $100 m^2/d$ , esto seria capas de poder proveer agua a un cantidad poblacional mayor hasta incluso industrial de acuerdo a su necesidad.



Tabla 6. Rango de valores de la transmisividad asociados, Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008

T (m <sup>2</sup> /d)	Calificación	Posibilidades del acuífero
T < 10	Muy Baja	Pozos de menos de 1 l/s
10 < T < 100	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s
100 < T < 500	Media	Pozos entre 10 y 50 l/s.
500 < T < 1000	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s.
T > 1000	Muy Alta	Pozos superiores a 100 l/s

#### Resistividad Hidráulica (c)

Se le denomina así ya que cuenta con una resistencia de un acuitardo o también denominados cavidades con poca permeabilidad al flujo vertical, esto de manera descendente así como ascendente, también llamado resultado de la división de el espesor del acuitardo y la conductividad hidráulica vertical del mismo acuitardo; por lo general su unidad de medida es por días. No tienen un intervalo de valores ya que este sería muy amplio desde un medio ciento hasta alguna decena de miles, y de manera inversa tenemos de mucho esto denominado coeficiente de goteo, que podemos expresarlo en 1/día.

#### 2.2.9 ACUÍFEROS

Se denomina acuífero a toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella, pudiendo extraerse en cantidades significativas mediante obras de captación. Podemos decir geologicamente que no todas las



formaciones cuentan con esa característica de transtimitir o almacenar, es decir puede que contengan pero no transmitan esto de una manera natural a esto se le llama o son llamados acuicludos, ahora aquellas que no tienen ninga de las características mencionadas se les denomina acuifugos, los últimos ne esta categoría son los no muy frecuentes acuitardos que son los que tiene poca casi nada transmitibilidad y su única finalidad son como apoyo o reserva de acuíferos cercanos.

### **2.2.9.1 Tipos de Acuíferos**

Podemos encontrar 3 tipos de acuíferos esto de acuerdo a su a su estructura, tales como:

El primero de estos es el denominado Acuífero libre: Se les considera así por que son no confinados o freáticos y esto por que su piso es impermeable y su techo esta al aire libre, estos acuíferos tiene la característica de que el agua de lluvia es su principal fuente de recarga por infiltración de ríos o lagos. Pero su desventaja es que son los más perjudicados en caso de sequía, esto porque el nivel freático varia de acuerdo a los cambios climáticos, otro ejemplo seria los pozos comunes estos son afectados, cuando el nivel freático desciende hasta por debajo de la profundidad total del pozo.

En segundo lugar tenemos los denominados acuíferos confinados: llamados así porque tiene la característica de ser cautivos o a presión todo esto porue en su parte superior tiene muy baja permeabilidad. La presión hidrostática a nivel del techo del acuífero es superior a la atmosférica otra característica seria que su fuente de recarga son acuíferos adiacenteso de manera lateral.

-Por ultimo tenemos los acuíferos semiconfinados o semicautivos: este tipo de acuíferos podemos encontrarlos frecuentemente en nuestro entorno. Su característica principal es que el techo, el piso o ambos, son de baja permeabilidad que si bien dificultan

no significa que sea una limitante para la circulación vertical del agua. Estos acuíferos semiconfinados se recargan mediante unidades de baja permeabilidad denominadas semiconfinadas, filtrantes o acuitardos. (Collazo & Montaña, 2012, p.20-21)



Figura 5. Pozo en un acuífero libre y confinado,Manual de Agua Subterránea,  
Collazo & Montaña , 2012

### 2.2.9.2 Tipos de acuíferos en función de su porosidad

Otra manera de clasificar los acuíferos es por su porosidad ósea es de acuerdo a sus propiedades físicas o de la manera monetaria de rentabilidad. Esto porque el movimiento del agua subterránea solo se realiza si existen vacíos conectados entre ellos es decir el suelo o la roca. Caso Contrario no se producen movimientos del agua. Y se distinguen los siguientes:

Los de porosidad Sedimentaria, también llamado de porosidad primaria: Estos están formados como su nombre lo dice por formaciones sedimentarias. Suelen ser de material de gravas y generalmente arenas, y estos varían su formación de acuerdo a su origen (fluvial, eólico, lacustre, glacial). Generalmente no consolidados o por así decirlo de

material suelto, por lo general son recientes, de la época cuaternaria o consolidados.

Los de porosidad fisurada también llamados secundarios: Estos son formados por rocas duras o rocas ígneas. Esto se determina por la presencia en la zonas de alteración, fracturas, fallas o diaclasas, solo en esos casos tiende el agua de almacenarse y/o circular.

Los de porosidad kársticos por disolución: Estan formados por rocas de origen carbonatico (calizas, margas, dolomías) es decir que la porosidad se da de manera secundaria por disolución del carbonato. A simplevista vemos que la única manera que el agua circula es por entre los huecos con una velocidad mayor que en los acuíferos porosos o fracturados. (Collazo & Montaña, 2012, p.22).



Figura 6. Clasificación de los acuíferos según su porosidad, Manual de Aguas

Subterráneas, Collazo & Montaña, 2012

### 2.2.10 Movimiento Del Agua Subterránea

Podemos decir que existe en el agua una presión  $p$  esto para cada punto medio que sea saturado, esto de tal manera que si consideramos poner una perforación con un tubo vertical, el agua, que cuenta con un peso específico  $\gamma$ , va a subir por el tubo una altura

$$h = p/\gamma + z$$



que estará dada por esta formula  $p/\gamma$ . Entonces consideremos un punto en el plano horizontal de tal manera que  $z$  sera considerada la elevación del punto en el plano, la altura que alcanzara el agua estará dada por:

Con esto diremos que la la altura  $h$  y la renombraremos como piezómetro,  $p/\gamma$  será también considerada altura de presión y por ultimo  $z$  es la altura de elevación (generalmente la cota). Concluimos con esto que para que logremos que el agua se mueva debemos tener una diferencia entre los niveles piezométricos de dos puntos. El movimiento se produce de un sitio de alto nivel otro de bajo nivel piezométrico independientemente de la presión existente en los mismos, pudiendo incluso desplazarse hacia un punto de mayor presión. (ENOHSa, 2008, p.9)

#### Ley de Darcy

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

$$v = K \cdot (h_1 - h_2) / L$$

Donde  $v$ = velocidad de flujo de Darcy

$h_1$ = nivel piezométrico en el punto 1

$h_2$ = nivel piezométrico en el punto 2

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

$K$ = conductividad hidráulica (definida en un apartado anterior)

La velocidad de flujo se llama “de Darcy” porque se supone que el flujo ocurre a



través de toda la sección transversal del material poroso, a pesar del hecho de que las partículas sólidas constituyen una gran parte del mismo.

La ley proporciona una forma para cuantificar la energía requerida para mover el agua a través de un acuífero; la pérdida de energía, es causada por la fricción entre el agua en movimiento y las paredes de los poros.

Por definición el gradiente hidráulico es

$$I = (h_1 - h_2)/L$$

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

$$Q = K.I.A$$

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

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

El criterio utilizado para distinguir un tipo de flujo del otro es el Número de Reynolds  $Re$ , que relaciona el diámetro de las partículas o poros, la velocidad del fluido y su densidad y viscosidad. Trabajos experimentales mostraron que la ley de Darcy es estrictamente válida para  $Re < 1$  y hasta que  $Re = 10$  no se presenten errores importantes, siendo este último entonces su límite de validez.



Para flujo turbulento la relación entre gradiente hidráulico y velocidad de flujo, ya no es lineal, pero por suerte la gran mayoría del flujo de agua subterránea ocurre con  $Re < 1$ , con las excepciones arriba mencionadas. (ENOHSa, 2008, p.14).

### **2.2.11 Hidráulica De Pozos**

La extracción de agua subterránea siempre está asociada a un descenso del nivel de agua, denominado depresión. En las ecuaciones de régimen transitorio interviene el factor tiempo, estas ecuaciones permiten calcular el descenso de la superficie piezométrica o freática con relación al tiempo transcurrido desde el inicio de la extracción del agua. Las ecuaciones desarrolladas requieren en general las siguientes hipótesis básicas:

El acuífero es homogéneo, isótropo, horizontal, de espesor constante y de una extensión horizontal infinita.

Hay un solo pozo en funcionamiento, bombeando un caudal constante.

El filtro del pozo abarca todo el espesor acuífero.

El nivel piezométrico anterior al bombeo es constante y uniforme en todo el acuífero.

### **2.2.12 Régimen Transitorio En Un Acuífero Libre**

En el caso de un acuífero libre existen algunas diferencias importantes con respecto al flujo en un acuífero confinado. Cuando se extrae agua de un acuífero libre, el gradiente hidráulico que es inducido por el bombeo crea un cono de depresión en la superficie freática en el cual existen componentes verticales de flujo. El agua producida por el pozo se origina tanto por los dos mecanismos propios del flujo confinado como también por un verdadero drenaje del acuífero libre. Existen esencialmente tres caminos que pueden ser usados para predecir el crecimiento en el tiempo y en el espacio del cono



de depresión en un acuífero libre.

El primero, que puede denominarse el análisis completo, reconoce que el problema hidráulico de pozos en un acuífero libre involucra un sistema de flujo saturado - no saturado en el cual los descensos de la superficie freática son acompañados por cambios en el contenido de humedad de la zona vadosa encima de la superficie freática. Ese análisis completo requiere soluciones que incluyen tanto la zona saturada como la vadosa mediante modelos matemáticos.

La conclusión general de los estudios realizados es que la posición de la superficie freática durante el bombeo no es substancialmente afectada por la naturaleza del flujo no saturado encima de ella. En otras palabras hay poca ventaja práctica en este enfoque y como las propiedades de la zona vadosa son extremadamente difíciles de medir in situ, esta solución de análisis completo es muy pocas veces aplicada. El segundo camino, que es de lejos el más sencillo, consiste en usar la misma ecuación del acuífero confinado pero con la función de pozo definida en términos de la porosidad eficaz en vez del coeficiente de almacenamiento. Además la transmisividad debe ser definida como

$$T = K \cdot b,$$

donde  $K$  es la permeabilidad y  $b$  es el espesor saturado inicial del acuífero. Jacob (1950) ha mostrado que este método conduce a depresiones bastante correctas siempre que la depresión sea pequeña en comparación con el espesor saturado total. En efecto el método se basa en las hipótesis de Dupuit- Forchheimer y falla cuando los gradientes verticales se hacen importantes. El tercer método, y el más usado en la práctica, se basa en el concepto de drenaje diferido.

Los trabajos pioneros corresponden a Boulton entre 1954 y 1963, con importantes aportes e innovaciones realizadas por Neuman entre 1972 y 1975. Puede observarse que



en piezómetros adyacentes a pozos de bombeo en acuíferos libres los niveles de agua tienden a descender a un ritmo menor que el determinado por la ecuación de Theis y las curvas de depresión - tiempo en papel logarítmico muestran una típica forma de S acostada, en la cual pueden distinguirse 3 segmentos diferentes. (ENOHSa, 2008, p.16)

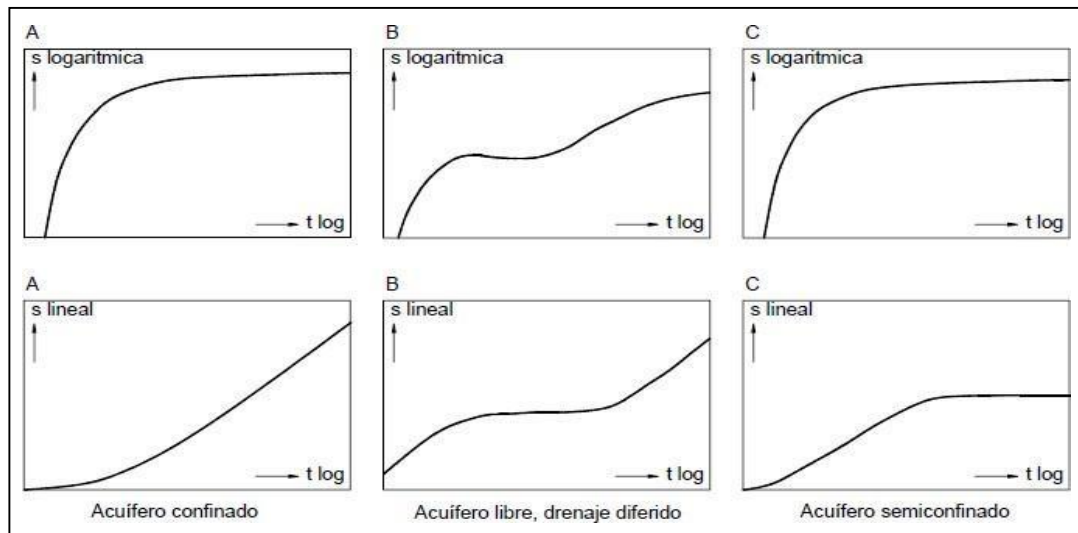


Figura 7. Curvas teóricas de tiempo - depresión en diferentes acuíferos, Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008

En el primero, que dura solamente un corto período después de iniciado el bombeo, el acuífero libre reacciona de la misma manera como lo hace un acuífero confinado.

El agua es cedida instantáneamente del almacenamiento por la compactación del acuífero y la expansión del agua. Durante el segundo segmento los efectos del drenaje gravitacional se hacen sentir a través de una disminución de la pendiente de la curva con relación a la curva de Theis porque el agua entregada al pozo por el drenaje que acompaña el descenso de la superficie freática es mayor que el que sería entregado por un descenso igual de la superficie piezométrica de un acuífero confinado. Durante el tercer segmento, que puede comenzar después de unos minutos o a los varios días de haber empezado a bombear, la curva nuevamente tiende a ajustarse a la curva de Theis. (ENOHSa, 2008, p.20)

## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 METODOLOGIA

Para el desarrollo adecuado de este proyecto fue indispensable tener claro una metodología a seguir, por lo cual se desarrolló un diagrama de flujo donde se plasmó el orden de las acciones que se realizaron:

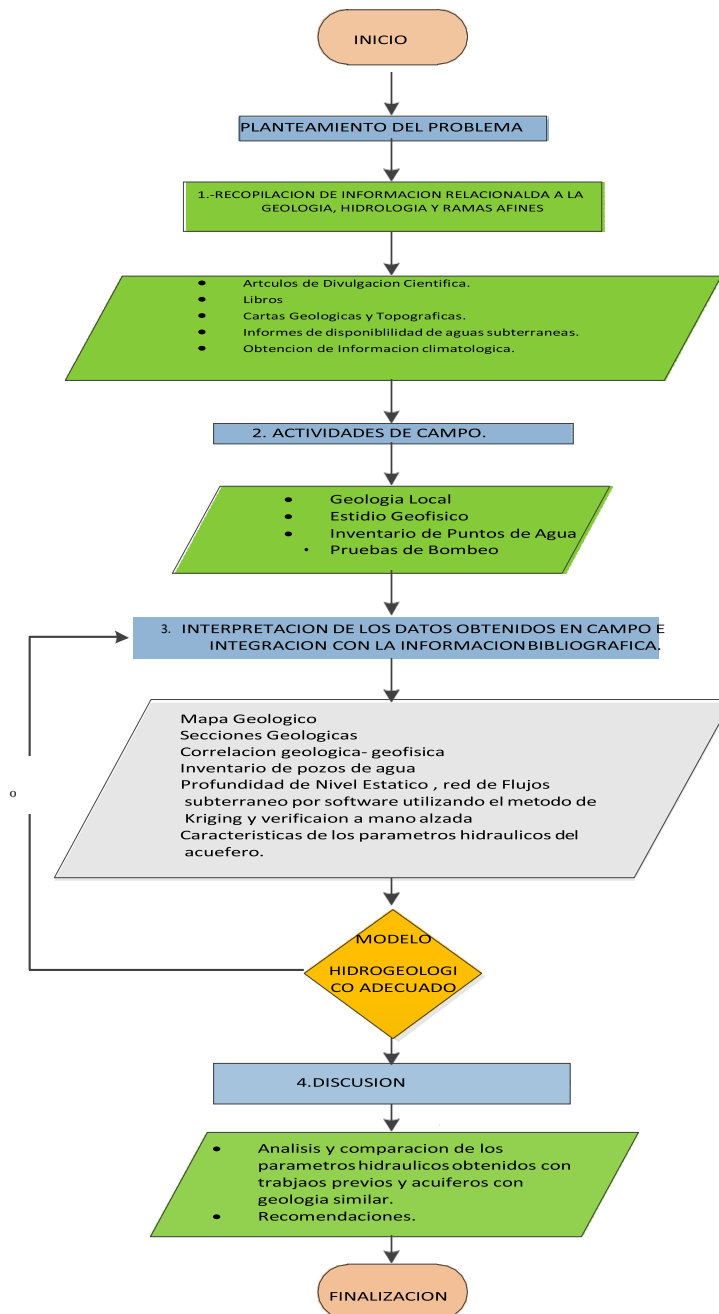


Figura 8. Metodología de estudio



### 3.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se recopiló la información geofísica, geológica y socioeconómica, actual e histórica, necesaria para la realización de la investigación. En estudios e información hidrogeológica en oficinas estatales, así como estudios efectuados por otras dependencias o empresas. Además, se realizaron entrevistas con personal técnico de dependencias oficiales encargadas de la administración del agua y se buscaron artículos de divulgación científica relacionados al tema.

La información fue seleccionada, ordenada, analizada y evaluada para tener bases de datos que especialmente sirvieron a los estudios, disponiendo la información en resúmenes fáciles de consultar.

#### 3.2.1 Características Geográficas

##### a. Ubicación política

- Región : Puno
- Provincia : Azangaro
- Distrito : Chupa
- Lugar : Rukus

##### b. Ubicación geográfica

- Zona : 19 L
- Este : 394 530
- Norte : 8332 422
- Cota : 3872 msnm

##### c. Vías de acceso

Las vías de acceso a la zona de estudio es a través de las vías provinciales desde la ciudad de Julia al distrito de Chupa y de ahí a la zona de estudio Rulus, tal como se indica en la tabla.

Las vías de acceso a la zona de estudio es a través de las vías provinciales desde la ciudad de Julia al distrito de Chupa y de ahí a la zona de estudio Rulus, tal como se indica en la tabla.

Tabla 7. Accesibilidad al área de investigación

De	a	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Frecuencia	Medio de transporte
JULIACA	CHUPA	72 km	1 hora y 50 minutos	afirmado	Diario	Combis
CHUPA	RUKUS	8 km	10 minutos	Trocha	interdiario	Combis

### 3.2.2 Prospección Geofísica

Los suelos, sedimentos y rocas son malos conductores de electricidad, es decir, presentan oposición al paso de la corriente eléctrica. A esta situación se le llama resistividad y se mide en  $\Omega \cdot m$ . La resistividad de los suelos, sedimentos y rocas disminuye cuando están saturados de agua y presentan otras características mecánicas como el grado de fracturamiento, compacidad, porosidad, metamorfismo, entre otras.

El método geofísico que se utilizó fue el Magnetotelúrico (MT). El método MT es una técnica pasiva de exploración que mide simultáneamente las variaciones de campo magnético H y campo eléctrico E, utilizando las variaciones naturales del campo electromagnético que fluye en el subsuelo a diferentes profundidades (Álvarez, 2011). Dicho método nos brinda información sobre la distribución de la resistividad eléctrica en



el suelo, dicha propiedad posteriormente se puede correlacionar con la información geológica e hidrogeológica para determinar los límites de acuíferos, zonas de alta transmisividad, variaciones de permeabilidad y localización de sistemas de fracturas (Schwinn y Tezkan, 1997). Al ser un método de fuente natural es versátil y práctico en el campo, ya que no es necesario implementar grandes tendidos de cable ni la presencia de grandes fuentes de energía (Pous y Marcuello, 2003; Simpson y Bahr, 2005).

La prospección geofísica por el método de resistividad eléctrica con fines de investigación por agua subterránea, se ejecuta con el fin de conocer las características del subsuelo, tanto su naturaleza y estructura, es decir, se determina la litología de sus diferentes estratos, así como sus respectivas resistividades y espesores. Esta información se relaciona con el marco geológico de la zona de estudio, dando como resultado el conocimiento indirecto de la naturaleza del suelo. El método empleado fue el de resistividad eléctrica en su variante sondaje eléctrico vertical (SEV). Utilizando la configuración tetraelectródica Schlumberger simétrico lineal (AM – BN). Este dispositivo es de amplio uso en estudios de aguas subterráneas. Para la ejecución de los SEVs, se ha empleado un equipo denominado resistivímetro electrónico de corriente continua.

Con fecha abril 2017, se realizó la prospección con ejecución de tres sondajes eléctricos verticales, cuyas estaciones se han ubicado como se muestra en la tabla.

Durante la adquisición de datos se revisaron continuamente los datos de campo con el fin de corregir Y/O evitar cualquier problema causado por corrientes telúricas, heterogeneidad del terreno, variaciones laterales, anisotropía del medio y polarización de los electrodos, con la finalidad de garantizar una adecuada adquisición de datos.



Tabla 8. Nro de SEV

Nro de SEV	ESTE	NORTE	PROPIETARIO DE TERRENO
SEV 01	03937 09.00	833245 7.00	Terreno de Cultivo
SEV 02	03939 64.00	833218 5.00	Terreno de Cultivo
SEV 03	03944 94.58	833221 4.50	Escuela de Rukus

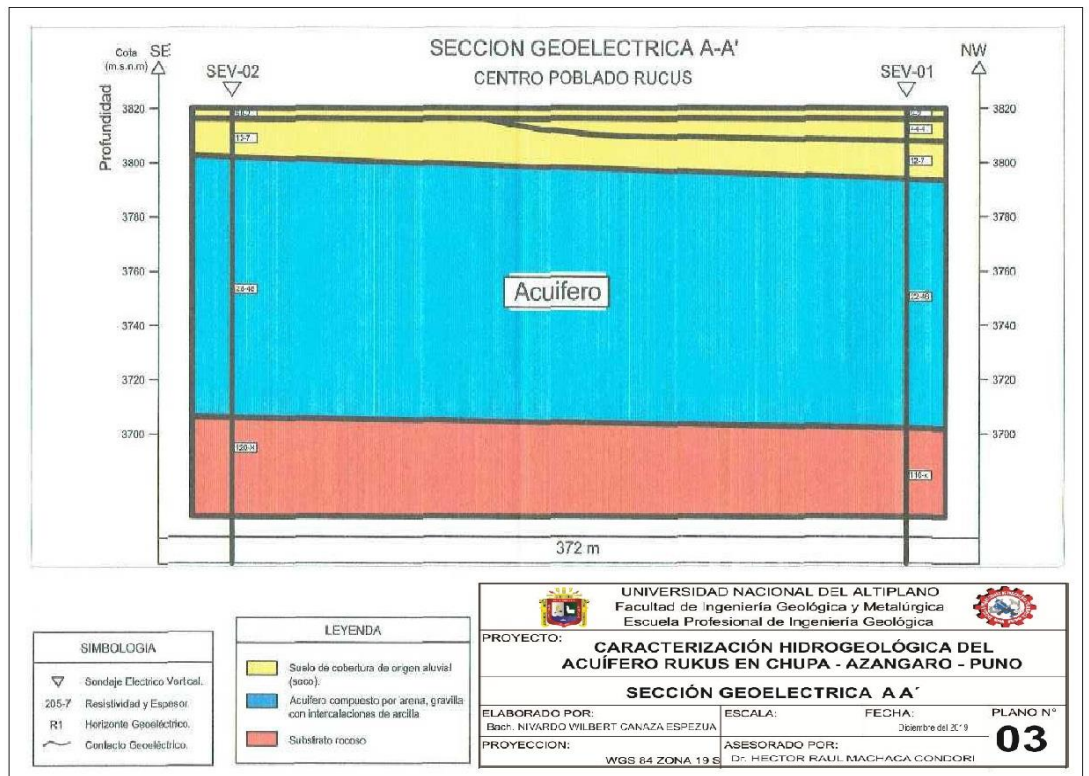


Figura 9. Sección geoelectrica-A-A' (INFORME DE RESULTADOS DE PROSPECCION GEOELECTRICO DE AGUAS SUBTERRANEAS PARA UBICACIÓN 2017)

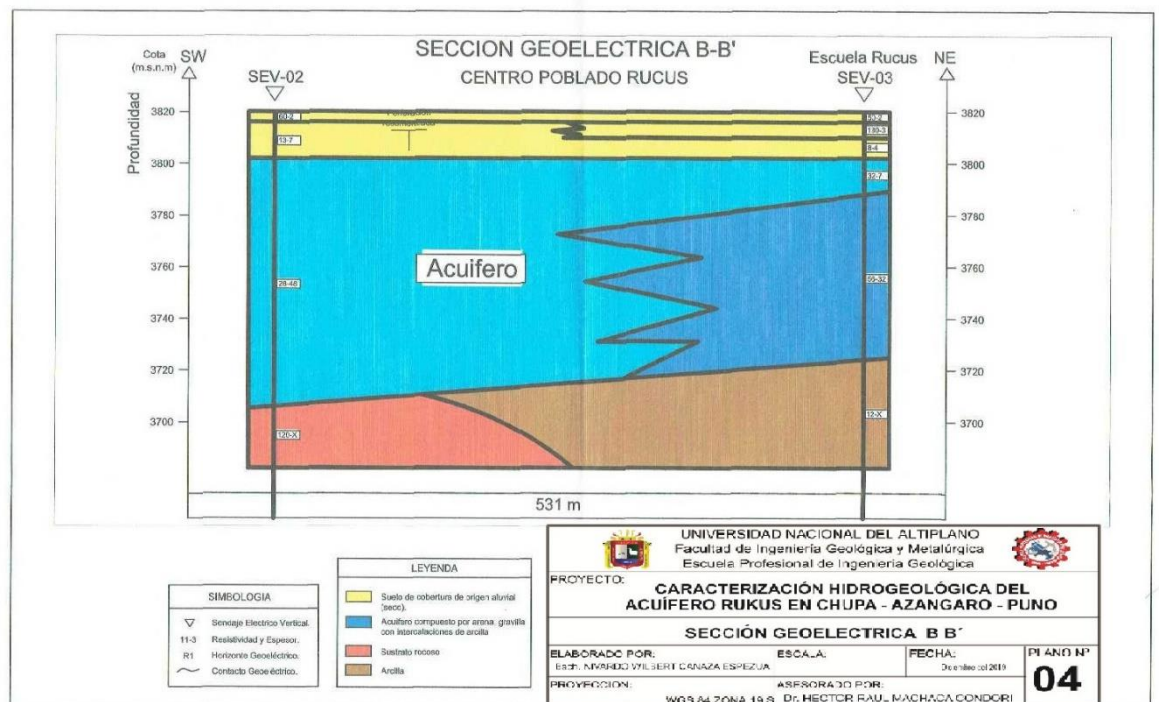


Figura 10. Sección geoelectrica-B-B' (INFORME DE RESULTADOS DE PROSPECCION GEOELECTRICO DE AGUAS SUBTERRANEAS PARA UBICACIÓN 2017)



## TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizó cada dos metros lineales de profundidad en la parte inicial de la perforación y en la parte final se varió a cada metro lineal, las cuales fueron depositadas en cajones de muestreo identificándolas con rótulos que indiquen la profundidad a la cual fueron extraídas; el peso de las muestras fueron aproximadamente 2 kilogramos.

En la inspección se visualizaron formaciones de arcilla limosa color gris, arena fina, arena gruesa color gris, arena gruesa conglomerádica con grava gruesa con bolones, areniscas rojizas, limolitas, arcillitas rojas.





Tabla 9. Código y fecha muestras

<b>Muestra</b>	<b>Fecha de Registro</b>
Rukus-2m	27/11/2019
Rukus-4m	27/11/2019
Rukus-6m	27/11/2019
Rukus-8m	28/11/2019
Rukus-10m	28/11/2019
Rukus-12m	28/11/2019
Rukus-14m	29/11/2019
Rukus-16m	29/11/2019
Rukus-18m	29/11/2019
Rukus-20m	30/11/2019
Rukus-22m	30/11/2019
Rukus- 23,7m	01/12/2019
Rukus-24	02/12/2019
Rukus-26	03/12/2019
Rukus-27m	03/12/2019
Rukus-27.5	03/12/2019
Rukus-28m	03/12/2019
Rukus-29m	04/12/2019
Rukus-30m	04/12/2019
Rukus-31m	05/12/2019

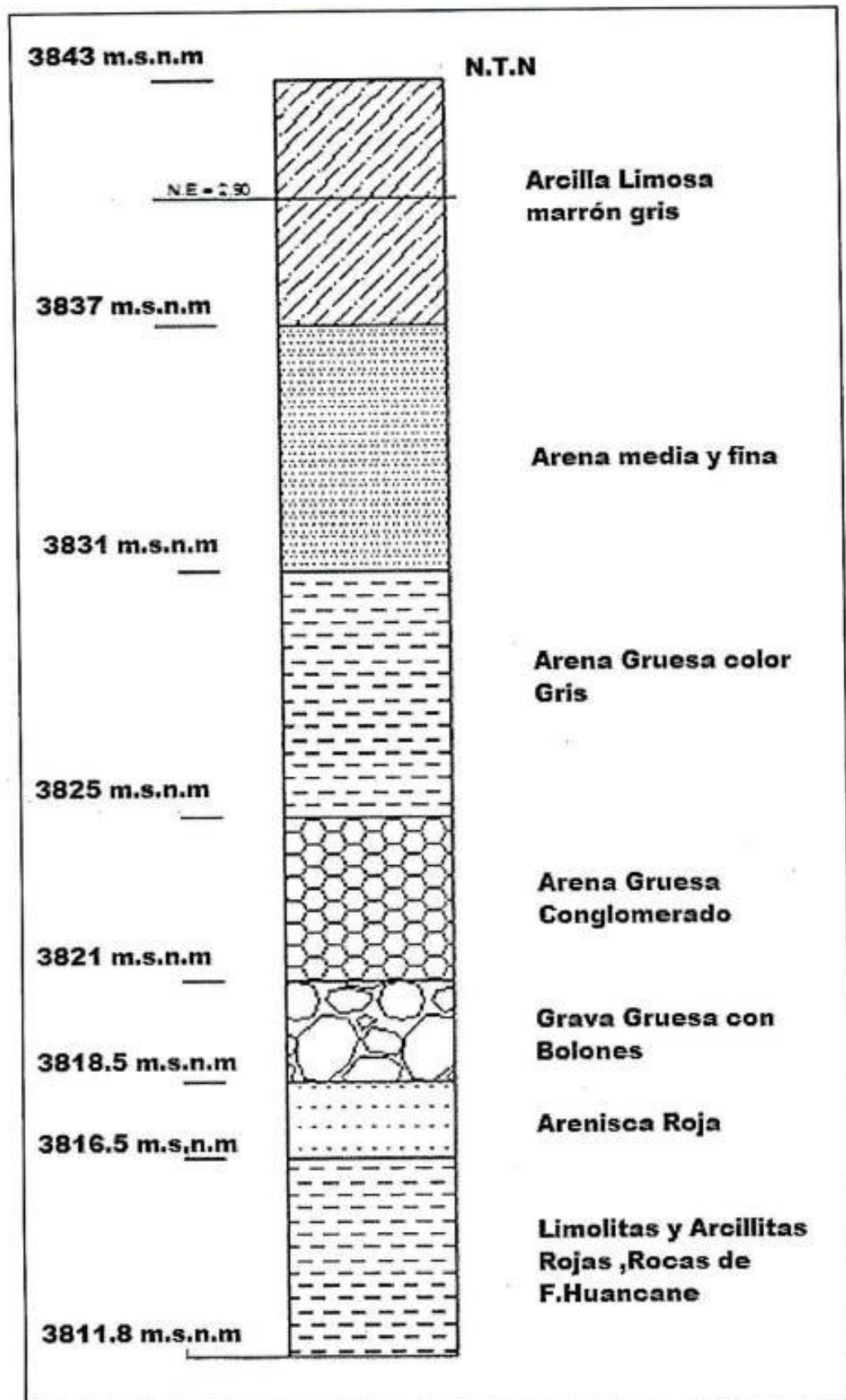


Figura 11. Registro del perfil litológico de campo



### 3.3 PRUEBAS HIDRÁULICAS

Las pruebas de bombeo son la herramienta más confiable para determinar las propiedades hidráulicas de un acuífero, por lo que se realizaron dos pruebas de bombeo de larga duración para el proyecto.

Las pruebas hidráulicas abarcaron un total de 80 horas distribuidas en ensayos de bombeo a caudal variable y a caudal constante; este procedimiento estuvo a cargo de un hidrogeólogo senior y apoyo técnico de un hidrogeólogo junior.

Las características hidráulicas se presentan a continuación:

Nivel estatico : 2.90 m

Nivel dinámico : 2.75 m

Caudal : 3.20 l/s

Tubería de descarga : 2" pulg

Altura de bomba sumergible : 20.40 m

Equipo de bombeo Bomba y motor

Marca MEBA

Bomba tipo sumergible

Modelo 4STM10 -13

Capacidad 3.0 L/s

Profundidad 21.0 m

Marca Motor REAL POWER BASE



Tipo Diessel

Voltaje 220v

Frecuencia 50Hz

Tubería de descarga de 2”

### **3.3.1 Prueba A Caudal Constante (Rendimiento)**

El pozo fue sometido a una explotación inicial de 24 horas las cuales fueron desechadas debido a registros erróneos producidos por el grupo electrógeno que alteraba el funcionamiento del equipo de bombeo, luego de superado el problema se procedió a hacer un nuevo registro con una duración total de 52 horas de bombeo y 13 horas de recuperación; no se procedió a extender hasta las 72 horas debido a que el caudal propuesto para esta prueba el nivel dinámico se estabilizó dando indicios suficientes para los respectivos cálculos que se hicieron con la finalidad de determinar los parámetros hidráulicos del acuífero como la permeabilidad y transmisividad.



Tabla 10. Registro prueba de bombeo a caudal constante

TIEMPO	CAUDAL l/seg	NIVEL EST.	NIVEL DIN.	ABATIM.
15seg	3.20 l/seg	2.9	2.92	-0.02
30seg	3.20 l/seg	2.9	2.93	-0.03
45seg	3.20 l/seg	2.9	2.93	-0.03
1 min	3.20 l/seg	2.9	2.94	-0.04
2 min	3.20 l/seg	2.9	2.95	-0.05
3 min	3.20 l/seg	2.9	2.95	-0.05
4 min	3.20 l/seg	2.9	2.95	-0.05
5 min	3.20 l/seg	2.9	2.95	-0.05
10 min	3.20 l/seg	2.9	2.95	-0.05
15 min	3.20 l/seg	2.9	2.95	-0.05
30 min	3.20 l/seg	2.9	2.95	-0.05
45 min	3.20 l/seg	2.9	2.95	-0.05
1 h	3.20 l/seg	2.9	3	-0.1
1:15 min	3.20 l/seg	2.9	3	-0.1
1:30 min	3.20 l/seg	2.9	3.08	-0.18
1:45 min	3.20 l/seg	2.9	3.08	-0.18
2 h	3.20 l/seg	2.9	3.08	-0.18
2:30 min	3.20 l/seg	2.9	3.05	-0.15
3h	3.20 l/seg	2.9	3.04	-0.14
4h	3.20 l/seg	2.9	3.04	-0.14
5h	3.20 l/seg	2.9	3.05	-0.15
6h	3.20 l/seg	2.9	3.05	-0.15
7h	3.20 l/seg	2.9	3.05	-0.15
8h	3.20 l/seg	2.9	3.05	-0.15
10h	3.20 l/seg	2.9	3	-0.1
12h	3.20 l/seg	2.9	2.98	-0.08
14h	3.20 l/seg	2.9	2.94	-0.04
16h	3.20 l/seg	2.9	2.85	0.05
18h	3.20 l/seg	2.9	2.8	0.1
20h	3.20 l/seg	2.9	2.55	0.35
22h	3.20 l/seg	2.9	2.55	0.35
24h	3.20 l/seg	2.9	2.55	0.35
26h	3.20 l/seg	2.9	2.55	0.35
28h	3.20 l/seg	2.9	2.55	0.35
30h	3.20 l/seg	2.9	2.55	0.35
32h	3.20 l/seg	2.9	2.6	0.3
34h	3.20 l/seg	2.9	2.6	0.3
36h	3.20 l/seg	2.9	2.63	0.27
38h	3.20 l/seg	2.9	2.68	0.22
40h	3.20 l/seg	2.9	2.68	0.22
42h	3.20 l/seg	2.9	2.68	0.22
44h	3.20 l/seg	2.9	2.75	0.15
46h	3.20 l/seg	2.9	2.75	0.15
48h	3.20 l/seg	2.9	2.75	0.15
50h	3.20 l/seg	2.9	2.75	0.15
52h	3.20 l/seg	2.9	2.75	0.15

Tabla 11. Prueba de bombeo en ciclos de recuperación

PRUEBA DE BOMBEO EN CICLOS DE RECUPERACION			
TIEMPO (min)	NIVEL DIN.	RECUP.	ABATIMIENTO
15seg	2.75	2.75	0
30seg	2.75	2.75	0
45seg	2.75	2.75	0
1min	2.75	2.74	0.01
2min	2.75	2.74	0.01
3min	2.75	2.74	0.01
4min	2.75	2.74	0.01
5min	2.75	2.75	0
7min	2.75	2.75	0
9min	2.75	2.74	0.01
10min	2.75	2.75	0
11min	2.75	2.76	-0.01
15min	2.75	2.75	0
20min	2.75	2.75	0
30min	2.75	2.76	-0.01
45min	2.75	2.76	-0.01
1h	2.75	2.77	-0.02
1:15min	2.75	2.76	-0.01
1:30min	2.75	2.76	-0.01
1:45min	2.75	2.77	-0.02
2h	2.75	2.77	-0.02
2:30min	2.75	2.78	-0.03
3h	2.75	2.78	-0.03
4h	2.75	2.79	-0.04
5h	2.75	2.81	-0.06
6h	2.75	2.84	-0.09
8h	2.75	2.87	-0.12
10h	2.75	2.88	-0.13
12h	2.75	2.9	-0.15
13h	2.75	2.9	-0.15

### 3.3.2 Prueba De Bombeo A Caudal Constante

La prueba de bombeo a caudal constante se realizó en 50 horas, con fecha 06 de noviembre del 2019 con un caudal de 3.2 l/s. en las figuras, se detalla este proceso:

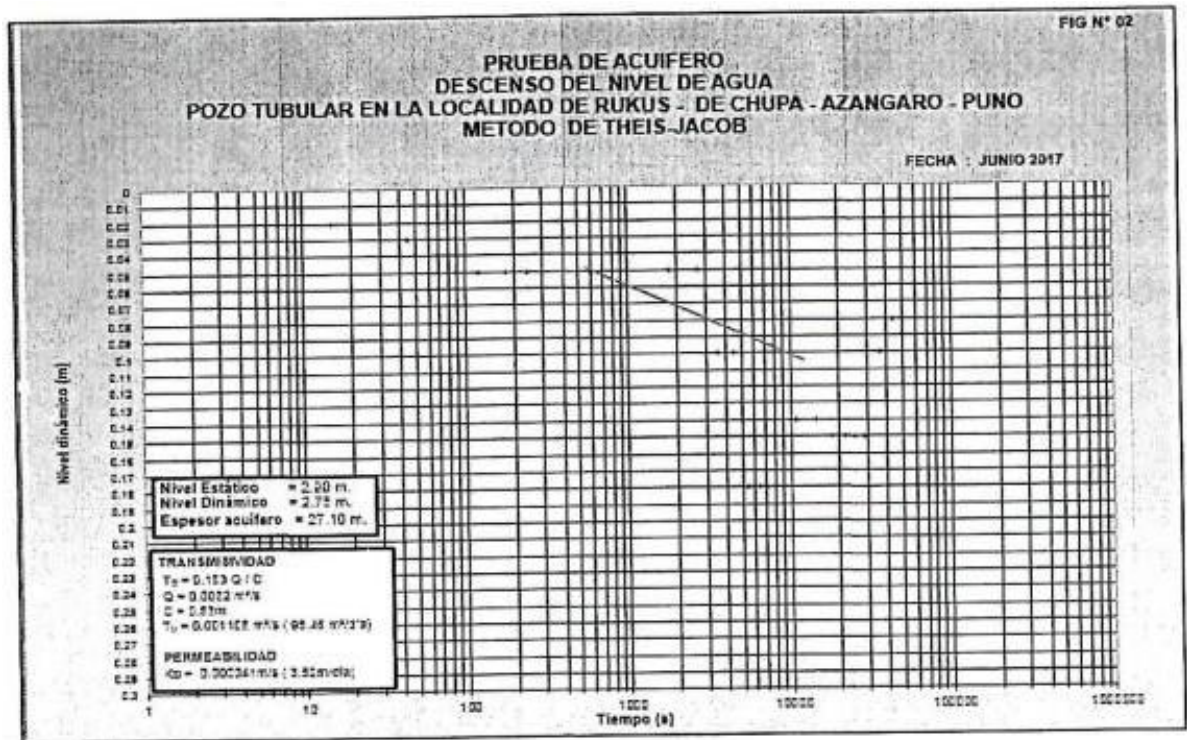


Figura 12. Prueba descenso del nivel de agua

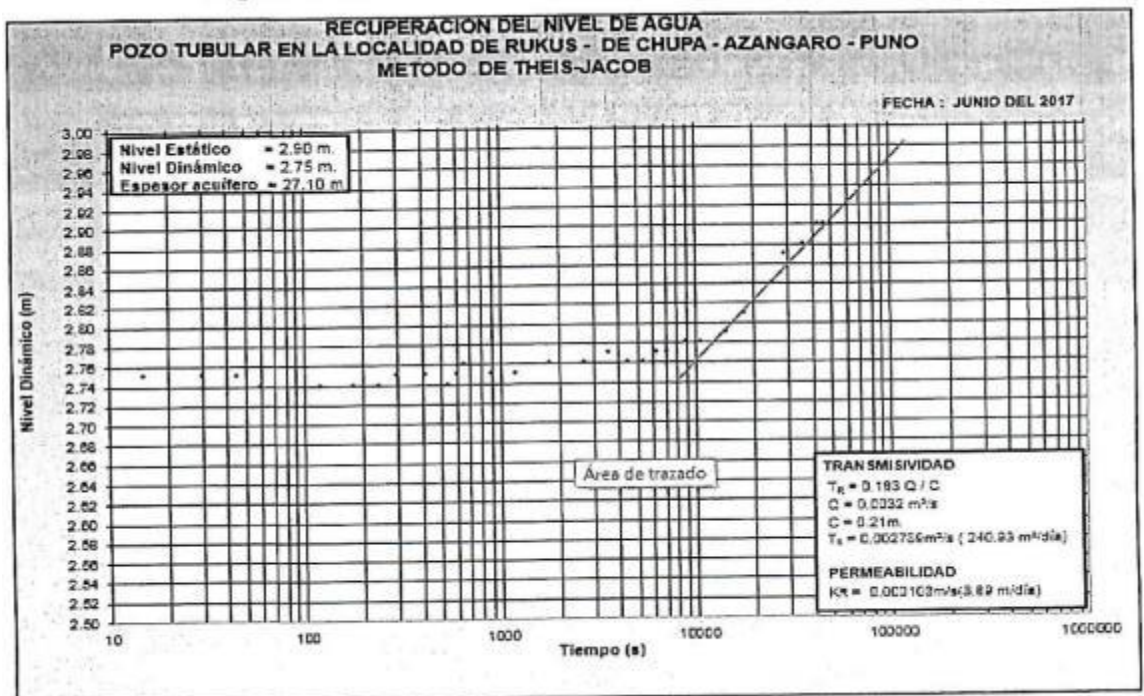


Figura 13. Prueba recuperación del nivel de agua



## CAPITULO IV

### RESULTADO Y DISCUSIÓN

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS DEL ACUÍFERO

##### 4.1.1 Geología Local

El mapa geológico presenta la geología y las estructuras principales que afectan los estratos del área del proyecto.

Aparte de los depósitos lacustrinos de la Formación Azángaro se distinguen conglomerados. Estructuralmente se observan lineamientos importantes.

Tanto en el cerro Rukus como en el Pichacani se aprecia un sistema de diaclasamiento que favorece la infiltración de agua superficial hacia los acuíferos subterráneos.

##### **Formación Huacane,**

Litología y ambiente de formación: Newell, (1949) subdividió a la formación Huancané en tres subunidades, así también Candia & Carlotto, (1985) dividió en dos subunidades en el presente trabajo se tomará este último:

Unidad inferior (10-50), está compuesta de areniscas conglomerádicas y areniscas cuarzosas y feldespáticas pardo rojizas a blanca, donde la base de los bancos presenta canales y la granulometría es decreciente. Presenta niveles finos de lutitas rojas, la cual indica la de transgresiones marinas.

Las areniscas cuarzosas, de grano grueso a fino, con granos sumamente redondeados, bien ordenado, con láminas de estratificación cruzada y fosilífera. También compuestos por cuarcitas y cuarzo lechoso en una matriz arenosa gruesa. La unidad consta de una serie de engrosamiento y se tiene hacia arriba secuencias de areniscas





cuarzosas de playa y areniscas eólicos.

### **Grupo Moho,**

Descrito por NEWELL (1945) como “Grupo Moho”, esta unidad estratigráfica se restringe a las facies sedimentarias de la Cordillera Oriental, también forma cuerpos alargados con orientación noroestesureste. PALACIOS et. al, (1993) denomina a esta unidad como Formación Moho, así en una nueva descripción y correlación litológica describe que esta formación está dominada por limolitas y fangolitas abigarradas con estratificación delgada, laminación en rizaduras y horadadas teniendo varios rasgos persistentes formados por areniscas cuarzosas con estratificación cruzada usualmente entre 20 a 50 m. de grosor. PALACIOS et. al, (1993) dice que la parte basal de la secuencia está dominada por sedimentos de color marrón rojizo de grano fino y en la parte media es mayormente limolita y fangolita color caqui gris y marrón. Fangolitas calcáreas delgadas con lignito aloctono y capas fósiles esparcidas que se encuentran en la parte media aunque en muchas localidades los sedimentos de grano fino parecen estar cortados por una gruesa secuencia de areniscas con estratificación cruzada, al tope se retorna a una litología compuesta de fangolitas y limolitas rojas (PALACIOS et. al, 1993).

### **Formación Viquechico, Inferior,**

Media, Superior; las cuales una litología, trama y textura fotogramétrica diferente, cuyas subunidades componen las rocas pelíticas con conmutaciones en el color según el perfil estratigráfico; así, como la distención de litología mediante las ondas de los sensores remotos. Su litología genérica consiste en areniscas finas, lutitas, calizas y dolomías; cuyo color vario a lo largo del perfil estratigráfico. Como a continuación mostramos más detalladamente las tres subunidades.



### **Formación Ausangate,**

Aflora en el centro poblado. Se presenta en contacto con la formación Vilquechico, algunos autores denominan como vilquechico superior, sin embargo; INGEMMET (estudio geológico del cuadrángulo 30-V, 1995), se estableció la formación Ausangate, por la cual se corrobora mediante análisis, uso de imágenes satelitales. Esta unidad se encuentra casi siempre en los ejes de los pliegues, convergencia hacia el Noroeste. Se distingue por las tonalidades verde rojizos y textura suave según la combinación de bandas R4, G5 y B1 de la imagen satelital RapidEye. Compuesta de areniscas arcósicas, lodolitas y limoarcillitas de coloración rojiza. y la formación Azángaro

Cuaternario, Entre el límite terciario y cuaternario sedimenta la Formación Azángaro con litología de arenas finas con limos poco consolidados. Continúa el levantamiento progresivo de los andes, acompañado por actividad volcánica andesítica, se siguen profundizando los micro cuencas y depositándose sedimentos glaciares (Pleistoceno), fluvio-glaciares y aluviales. Sigue también la actividad volcánica con abundantes explosiones para que así en el Holoceno quede la fisiografía actual de las cuencas intermedias.

#### **4.1.2 Hidrogeología**

En la región Puno, se encuentran ríos que se agrupan en dos cuencas hidrográficas bien definidas: la cuenca hidrográfica del lago Titicaca y la cuenca hidrográfica amazónica del río Madre de Dios. Existen más de 300 ríos y 50 lagunas, además, el lago Titicaca presenta golfos, penínsulas, bahías e islas. Hidrográficamente pertenece a la Cuenca del Lago Titicaca y limita por el Norte con la cuenca del río Inambari, por el Sur con la cuenca del río Coata, por el Este con las cuencas de Huancané y Suches y por el Oeste con la cuenca del río Vilcanota. Varias regiones del Altiplano andino fueron objeto



de numerosos reconocimientos geológicos y geomorfológicos. Citaremos como información los trabajos pioneros de Agassiz (1840), Musters (1877), Minchin (1882), Steinmann et al. (1906), Pompecki (1905), Bowman (1909, 1914 y 1916), Oggvie (1922), Troll (1927), Moon (1939) y más recientemente los de Ahlfed (1946), Newell (1949) y Ahlfed & Banisa (1960). Estos autores descubrieron y describieron depósitos sedimentarios que cubren importantes superficies en el Altiplano. Estos depósitos fueron asociados a grandes lagos que inundaron una buena parte de las cuencas intramontañosas y se les atribuyó una edad Cuaternaria. Sin embargo, hubo que esperar los trabajos de Servant (1977), Servant & Fontes (1978, 1984) y Lavenu et al. (1984) para que la sucesión de los diferentes episodios lacustres fuera conocida con relativa precisión. Lavenu et al. (op. Cit.) Dieron una síntesis de las informaciones recogidas sobre el trabajo. Estos autores establecen, a partir de las alturas de las diferentes terrazas reconocidas en los alrededores del actual lago Titicaca, la sucesión siguiente: Paleolago Mataro 3950m. Paleolago Cabana 3900m. Paleolago Ballivian 3860m, Paleolago Minchín 3825m Paleolago Tauca 3815m. Lago Titicaca (actual) 3809m. Las 3 primeras entidades lacustres (las más elevadas) son atribuidas al Cuaternario antiguo (o al final del Plioceno) o medio, sin no obstante apoyarse en controles cronológicos precisos (cf. Clapperton, 1993). Los episodios Minchín y Tauca son fechados de >27 000 años BP por Servant & Fontes (1978). Más recientemente nuevas dataciones permitieron precisar la edad de estas fases lacustres (Servant et al, 1995; Argollo & Mourguiart. En cambio, pocos estudios trataron sobre los episodios interlacustres. Algunas informaciones esporádicas que en su mayoría se basan en escurrimientos superficiales, son proporcionadas por Servant & Fontes (1984). Hubo que esperar los trabajos de Wirmann & Oliveira Almeida (1987), Wirmann et al. (1988, 1991) e Ybert (1988, 1991) para que la historia climática de los últimos milenios en el Altiplano fuera conocida con bastante precisión. Estas nuevas



informaciones fueron obtenidas a partir de los datos proporcionados por los sedimentos del lago Titicaca. El Altiplano un relieve relativamente suave, consiste fundamentalmente de un sistema endorreico fluvial lacustre, que se extiende desde las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental hasta las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, con un ancho de 70 a 80 km, y altitudes variables de 3 800 a 4 500 msnm, que se extiende y amplía hacia el territorio boliviano en el SE. Las rocas del Altiplano van desde el Paleozoico superior hasta depósitos recientes. Constituyen en cierto modo una plataforma de rocas antiguas que separa la cuenca Yura y la cuenca Putina. Las morfoestructuras más destacables son las cadenas de cerros y depresiones de origen estructural en rocas Mesozoicas. La región Puno tiene ocho diferentes sub climas que se definieron a través de una investigación a cargo del especialista Hermes Chino. Como conclusión de la investigación, se determinó que seis de los sub climas corresponden al área altiplánica, y los dos a la de selva. Las deducciones se consiguieron de los estudios realizados desde el año 1960 en 54 estaciones meteorológicas. En los terrenos que comprenden los 2 400m hasta los 4 800 m de altura (el Altiplano), la vegetación es relativamente abundante. Existen pastos naturales como el ichu, principal pasto de las altiplanicies; arbustos como la tola y el queñoal, que se desarrolla en bofedales y árboles de tamaño mediano a pequeño. Entre los principales cultivos, está la papa, cebada, olluco, oca, habas y otros.

#### **4.1.3 Geomorfología**

La erosión Pliocénica de la superficie es claramente reconocible en el ondulado campo abierto al NE de la Divisoria continental, mientras que al Suroeste, el terreno se encuentra dividido por profundos valles y cañones y aun así las reliquias de la erosión superficial se encuentran marcadas por picos con un promedio de 5000 m.s.n.m.

Al Suroeste de la Divisoria Continental los valles altos correspondientes al levantamiento “Chacra” de D. Mc Laughlin están bien marcados. Debajo de los 3400



m.s.n.m. el “Cañón” o último gran periodo de levantamiento está claramente demostrado por gargantas profundas que en algunos casos están a miles de metros de profundidad.

Los valles arriba de los 4,000 metros muestran los efectos de la glaciación Pleistocénica. Morrenas laterales y terminales, valles en forma de “U”, valles colgados y lagunas excavadas por glaciares se encuentran bien desarrollados.

## **4.2 CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA**

### **4.2.1 Interpretación Geológica-Geofísica**

La información de campo se ha procesado de acuerdo a las técnicas establecidas para la exploración eléctrica. En base a la información, se han interpretado los sondajes en términos de resistividad y espesores, los mismos que han permitido elaborar cortes geoelectrónicos.

La interpretación de los sondajes consiste en determinar la distribución vertical de las resistividades y espesores de los diferentes horizontes geoelectrónicos identificados. Para tal fin se hizo uso de tablas y curvas maestras para sondajes eléctricos elaborados por Orellana y Mooney.

Los resultados de la interpretación de los sondajes eléctricos se muestran en el siguiente Tabla:

Tabla 12. Resultados de SEVs

Nro de Sondaje	Horiz	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5
SEV - 1	P( $\Omega$ -m)	9	44	12	22	110
	E(m)	2	4	7	46	x
	$\Sigma$ (m)	2	6	13	59	--
SEV - 2	P( $\Omega$ -m)	60	13	28	120	
	E(m)	2	7	48	X	
	$\Sigma$ (m)	2	9	57	--	--
SEV - 3	P( $\Omega$ -m)	50	130	8	32-56	12
	E(m)	2	3	4	7-32	x
	$\Sigma$ (m)	2	5	9	48	--

Donde:

P: resistividad eléctrica en ohn-m

H: espesor del horizonte geoelectrico

R: horizonte geoelectrico.

El análisis e interpretación de los sondajes eléctricos verticales realizados en el CP. Rukus han permitido arribar a las conclusiones y recomendaciones siguientes:

En la zona prospectada se ha identificado un depósito acuífero a partir de la profundidad aproximada de 9.00 metros; cuyas características geoelectricas son las siguientes:

El acuífero productivo está representado por la tercera capa que se ve en las secciones con resistividad entre 32 y 56 ohn-m relacionado a material compuesto por arena y gravilla con intercalaciones de capas y sub-capas de limo y arcilla.



El espesor del acuífero varía entre 41.00 metros y 48 metros su permeabilidad varía entre media y baja.

La base impermeable identificada en los sondajes 01 y 02 estaría constituido por material de naturaleza rocosa y a la altura del sondaje 03 por material principalmente arcilloso.

Por los resultados obtenidos el punto más favorable para la captación de aguas subterráneas se ubica a la altura del sondaje 03 localizado por las inmediaciones de la escuela del centro poblado de Rukus, cuyas coordenadas se muestra en el Tabla siguiente:

Tabla 13. Ubicación del punto más favorable

<b>Nro de SEV</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Profundidad de Perforación</b>
SEV	0393709	8332457	50mts

#### Análisis Granulométrico De Las Muestras

Las muestras extraídas de los distintos niveles de perforación fueron llevadas al laboratorio de mecánica de suelos, concreto y asfaltos de la facultad de ingeniería y ciencias puras de la Universidad Andina “Nestor Cáceres Velásquez” para su respectivo análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422).

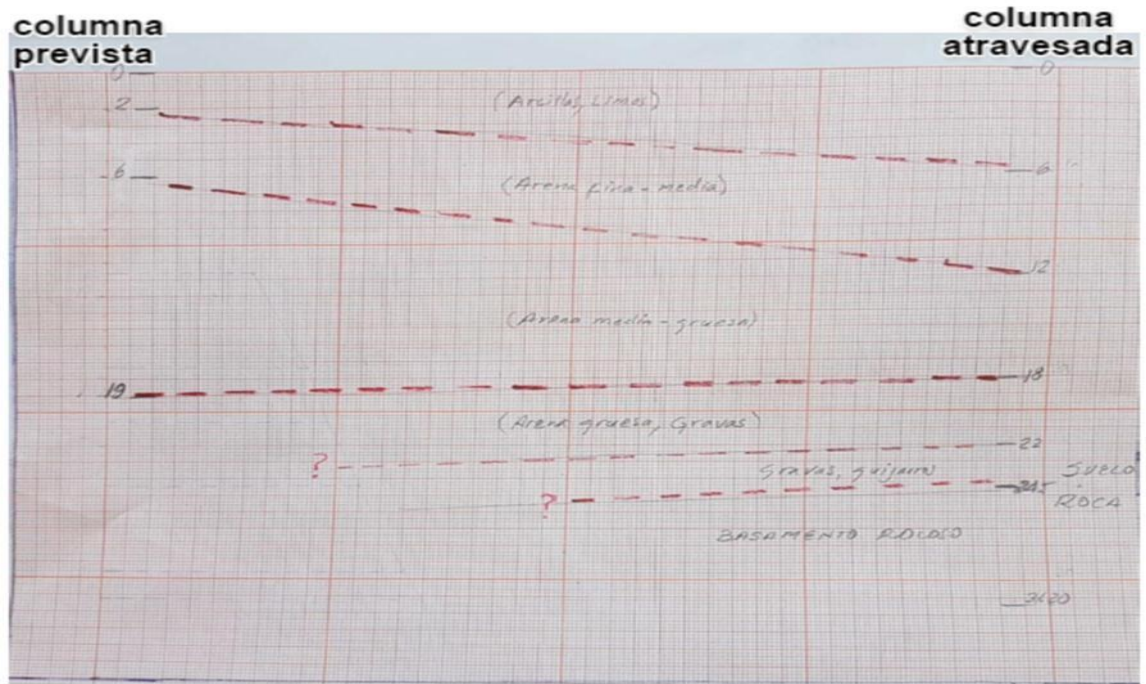


Figura 14. Correlación ente lo previsto y lo real



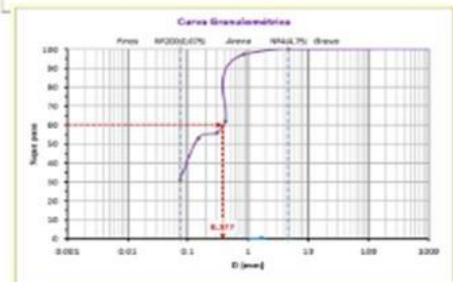
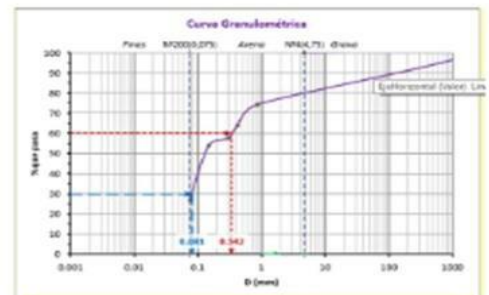
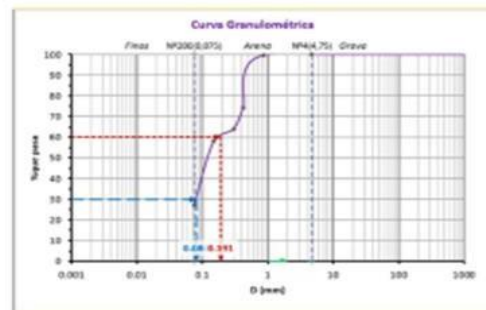
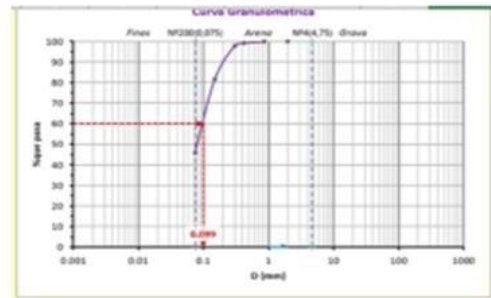
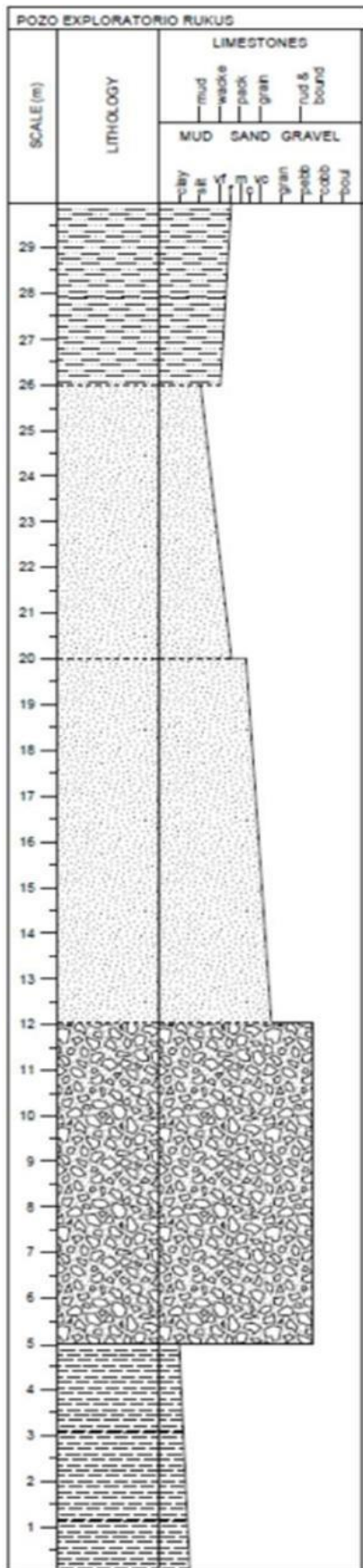


Figura 15. Interpretación de la granulometría

#### 4.2.2 Rendimiento Específico Del Pozo

No se cuenta con pozos aledaños, ni fuentes de agua cercanos al Pozo Tubular Rukus; siendo el pozo más cercano un pozo tubular de 8" con 30 metros de profundidad y se encuentra a una distancia aproximada de 3 km. (No dejaron registrar dato a la fecha de presentación del presente informe).

#### 4.2.3 Caudal Específico Del Pozo

Se utilizó los datos de la prueba de bombeo a caudal variable (escalonada) y cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 14. Caudal específico del pozo

ETAPA	CAUDAL	DESCENSO PARCIAL (m)	DESCENSO ACUMULADO (m)	RENDIMIENTO ESPECIFICO (l/s/m)	ABATIMIENTO (m.b.n.t)
0	0	0	1.35	0	1.35
1	2.5	1.15	2.5	1.00	2.5
2	2.75	0.2	2.7	1.00	2.7
3	3	0.3	3	1.00	3
-	-	1.65	-	1.00	-

Bajo las condiciones presentadas el caudal específico del pozo es de 1.0 l/s/m de descenso dinámico del pozo lo cual es un estimativo que nos abastecerá con suficiencia la demanda del proyecto que es de 0.98 l/s.

#### 4.2.4 Parámetros Hidráulicos

Concluida la prueba de bombeo escalonada del Pozo Tubular Rukus, se procedió a ejecutar la prueba de acuífero cuyo caudal se ha calculado con rendimiento promedio de 3.20 l/s., que se ha interpretado siguiendo el método de aproximación logarítmica de Theis modificada por Jacob, con un espesor de acuífero de 27.10 m., tal como se aprecia en la figura 06 y 07, en donde se a calculado la transmisividad y permeabilidad:

Transmisividad

$$T_D = 0.0011 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (95.46 m}^2/\text{día)} \quad T_R = 0.0028 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (2240.93 m}^2/\text{día)}$$

$$T_P = 0.0019 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (168.22 m}^2/\text{día)}$$

**Permeabilidad**

$$K_D = 0.000041 \text{ m/s} \text{ (3.52 m/día)}$$

$$K_R = 0.000103 \text{ m/s} \text{ (8.89 m/día)}$$

$$K_p = 0.000072 \text{ m/s} \text{ (6.22 m/día)}$$

Los valores calculados en este estudio, permiten considerar como representativos de acuíferos con aceptables características hidráulicas.

Valores que pueden considerarse como representativo de acuíferos de aceptables características hidrogeológicas.

Para la zona se ha considerado como coeficiente de transividad el promedio de 0.0019 m<sup>2</sup>/s., que es el promedio de las pruebas realizadas en la zona evaluada.

Teniendo en consideración la naturaleza y características de la litología arenosa que presenta el acuífero en la zona, confirmando con los valores de resistividad verdadera obtenido en la interpretación de la prospección geofísica, se vislumbra un valor de porosidad eficaz que puede llegar a tener un coeficiente de almacenamiento “S” de 10

%.

#### 4.2.5 Análisis de Interferencia

La distancia que existe entre el centro del pozo y el lugar donde la depresión de la napa es nula ( $h=0$  m.), por efecto del bombeo, constituye el radio de influencia del pozo denominado radio de influencia absoluto ( $R_a$ ); en la práctica se puede considerar una pequeña tolerancia de depresión ( $h=0.10$  m.), que no incida significativamente en la producción de pozos vecinos, denominándose a este fenómeno como radio de influencia relativo o tolerante ( $R_r$ ), cuya expresión genérica tiene la fórmula:

$$H=0.183 Q/T \log. 2.25 Tt/r^2S$$

**Donde:**

$r$  = radio de influencia del pozo m.

$T$  = coeficiente de transmisividad ( $0.0019$  m<sup>2</sup>/s)  $t$  = tiempo de bombeo (variables)

$S$  = coeficiente de almacenamiento ( $0.10$ )  $Q$  = caudal de diseño ( $0.0032$  m<sup>3</sup>/s)

$H$  = abatimiento ( $0.00/0.10$  m)

Radio absoluto ( $R_a$ ):

$$H = 0.00 \text{ m. } R_a = 1.5 (Tt/S)^{0.5}$$

Radio de influencia relativo ( $R_r$ )

$$H = 0.10 \text{ m. } R_r = (2.25 Tt/S \times 10^a)^{0.5} a = hT/0.183 Q$$

Para diferentes tiempos de bombeo se ha calculado los siguientes radios de influencia absolutos y relativos:

Tabla 15. Radio absoluto y relativo

<b>Radio de Influencia Absoluto(Ra)</b>							
Tiempo de Bombeo (Hrs)	4	8	12	16	18	20	24
Radio de Influencia (m)	25	35	43	50	53	55	61
<b>Radio de Influencia Relativo(Rr)</b>							
Tiempo de Bombeo (Hrs)	4	8	12	16	18	20	24
Radio de Influencia (m)	17	24	30	34	36	38	42

Es decir que la separación máxima que pueden tener 2 pozos que trabajen de manera simultánea y exploten 3.2 l/s. cada uno durante 18 horas continuada de bombeo será de 106 m. para un radio de influencia absoluto y de 68 m. para un radio de influencia relativo, valores que pueden ser considerados dentro de los márgenes de seguridad para la normal operación de los pozos vecinos.

#### 4.2.6 Diseño Técnico Del Pozo

En función al análisis del perfil litológico de campo, análisis granulométrico de las muestras e intercambio de criterios técnicos entre el ingeniero geólogo del proyecto y el supervisor se identificó en el acuífero un tramo u horizonte productivo entre las profundidades de 10,00 a 25.00 metros un espesor favorable por las condiciones que presenta, por tal motivo se instaló la columna filtrnate en este tramo quedando dispuesta la columna de producción como se muestra en la siguiente tabla:



Tabla 16. Registro instalación de tubería

<b>Profundidad (m.b.n.t)</b>	<b>Descripcion</b>
<b>0.00-10.00 m</b>	Tuberia Ciega de PVC de diametro 4";C-10 (Roscada)
<b>10.0-25.00 m</b>	Tuberia Ranurada (abertura =2 mm) de PVC diametro 4";C-10 e=7.7 mm. (Roscada)
<b>25.00-30.00 m</b>	Tuberia Ciega de PVC de diametro 4";C-10 (Roscada)
<b>30.00-31.20 m</b>	Tuberia de sedimentacion PVC de diametro 4";C-10(Roscada)

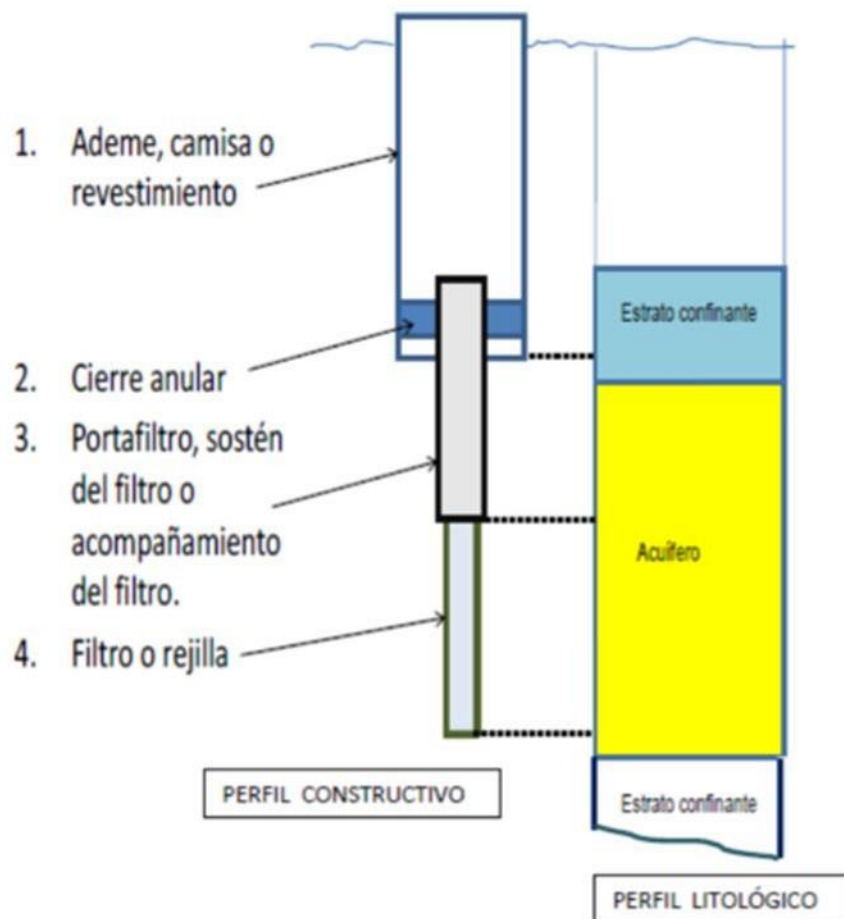


Figura 16. Diseño preliminar pozo exploratorio

#### 4.2.7 Prueba de Verticalidad

Se realizó para verificar que durante el proceso de perforación el eje central de este no haya sufrido desviaciones fuera de los límites permitidos (relación desviación/profundidad). Bajo criterio técnico de que la tubería de revestimiento de la perforación ingresó sin problemas hasta la culminación del pozo, se acepta que no existen desviaciones que sobrepasen los límites permitidos.

Para el caso de la tubería de producción esta se partió de la verticalidad del pozo e instalando centradores los cuales garantizan la concentricidad y verticalidad de la instalación de la misma.



#### 4.2.8 Instalación y Características de los Tubos y Filtros

Antes de la instalación de la columna de producción (revestimiento), se repasó a lo largo de toda la columna del pozo con una broca tricónica para eliminar cualquier deformación que se haya producido durante la perforación del pozo.

La instalación de las tuberías de la columna de producción se realizó usando trampas de soporte que se apoyan sobre un soporte indeformable, manteniendo la tubería suspendida mientras pieza a pieza por unión roscada se va ajustando y descendiendo la tubería de revestimiento hasta completar todo el recorrido del pozo.

**Tubería ciega:** tubería ciega de PVC SAP con diámetro nominal de 4"; C-10 e= 7.7 mm (roscada trapezoidal en los extremos).

**Tubería filtrante:** tubería ranurada de PVC SAP con diámetro nominal de 4"; C-10 e= 7.7mm (roscada trapezoidal en los extremos). Ranura de 2mm con espaciamiento de 5 cm entre ranuras y un total de 492 ranuras por línea.

**Tubería de sedimentación:** tubería ciega de PVC SAP con diámetro nominal de 4"; C- 10 e= 7.7 mm (roscada trapezoidal en los extremos).

Obs: las aberturas de las rejillas fueron determinadas en base a la granulometría del terreno y las características técnicas del empaque de grava, permitiendo una velocidad de ingreso de 3 cm/sy considerando una obstrucción del50% del área abierta.

#### EMPAQUE DE GRAVA

El pozo perforado se efectuó en un acuífero que consta de arenas medias a gruesas, con niveles basales bastante conglomerádicos, sin embargo tenía una importante matriz de finos, por lo que fue necesario preparar un empaque de grava para rellenar el espacio anular del pozo; así mismo, estabilizar los niveles acuíferos de subsuelo de la pared del pozo en ejecución.





El volumen de grava empleada, compuesta de cuarcita y andesita como canto rodado (semi- redondeada) de río resistente al tratamiento con ácido clorhídrico (HCL), fue aproximadamente de  $1.8 \text{ m}^3$  la misma que fue colocada entre el espacio anular de la tubería de producción y el acuífero, el mismo que tenía unas dimensiones entre 50 a 75 mm entre las profundidades de 30 y 7.50 metros bajo el nivel del terreno.

El proceso de engravado se desarrolló después de la instalación de la tubería y durante el proceso de limpieza del pozo, para ello se acondicionó el lodo de perforación (viscosidad entre 40 y 45 seg/lit y densidad entre 1 y  $1,20 \text{ gr/cm}^3$ ). Y Ph 7.03, bajando su viscosidad lentamente mediante la tubería de circulación desde el fondo del pozo con lodo diluido y apoyándose en la tubería de engravado; el proceso se inició cuando se terminó un lodo optimo y verificando que al parar no existe retorno en interior de la tubería de circulación.

#### **4.2.9 Características De La Grava**

Principal.

La grava que se utilizó como pre filtro fue de diámetro entre 3 a 5 mm, teniendo tolerancias en la desviación del tamaño menores al 15% y así mismo, presentaban características de limpieza, redondeada y durable.

Otros rellenos

El espacio anular del fondo del pozo (profundidad de 30 a 31.20 metros bajo el nivel del terreno) fue llenado con una cama de grava utilizando aproximadamente  $0.12 \text{ m}^3$  de material seleccionado en una columna de 1.20 m.

#### **4.2.10 Protección Sanitaria (Sello)**

La implementación de sello sanitario se hizo con la finalidad de no contaminar el

acuífero implementándose después de la prueba de bombeo ya que es producto del reacomodamiento de la grava ésta disminuyó su nivel procediéndose a completar hasta los niveles indicados para el filtro; consta de los siguientes componentes:

#### 4.2.11 Instalación De Tubería De Protección De 8”

Se instaló una tubería de revestimiento (acero negro) de 2 metros lineales y diámetro nominal 8” en el extremo superior del pozo que sobresale del nivel del terreno 0.60 m, la misma que está completamente sellada por un tapón roscado y servirá de protección a la columna de producción del pozo hasta que se haga el equipamiento respectivo; de esta forma se evita que ingresen agentes contaminantes hacia el pozo.

#### SELLO SANITARIO

El sello sanitario colocado consta propiamente diseñado, viene desde la profundidad de 7.50 metros bajo el nivel del terreno y está ubicado en el espacio anular generado entre la tubería de producción (revestimiento) y las paredes del pozo; está distribuido de la siguiente forma:

Limpieza y desarrollo del pozo

Tabla 17. Registro de construcción del sello

Profundidad (m.b.n.t)	Volumen (m3)	Descripcion
0.00 - 1.60 m	0.15	Relleno en concreto de $F_c = 175 \text{ kg/cm}^2$
1.60 - 2.00 m	0.05	Rellno con Bentonita comercial
2.00 - 7.50 m	0.75	Relleno con Arena media en contacto con capas saturadas y no Saturadas



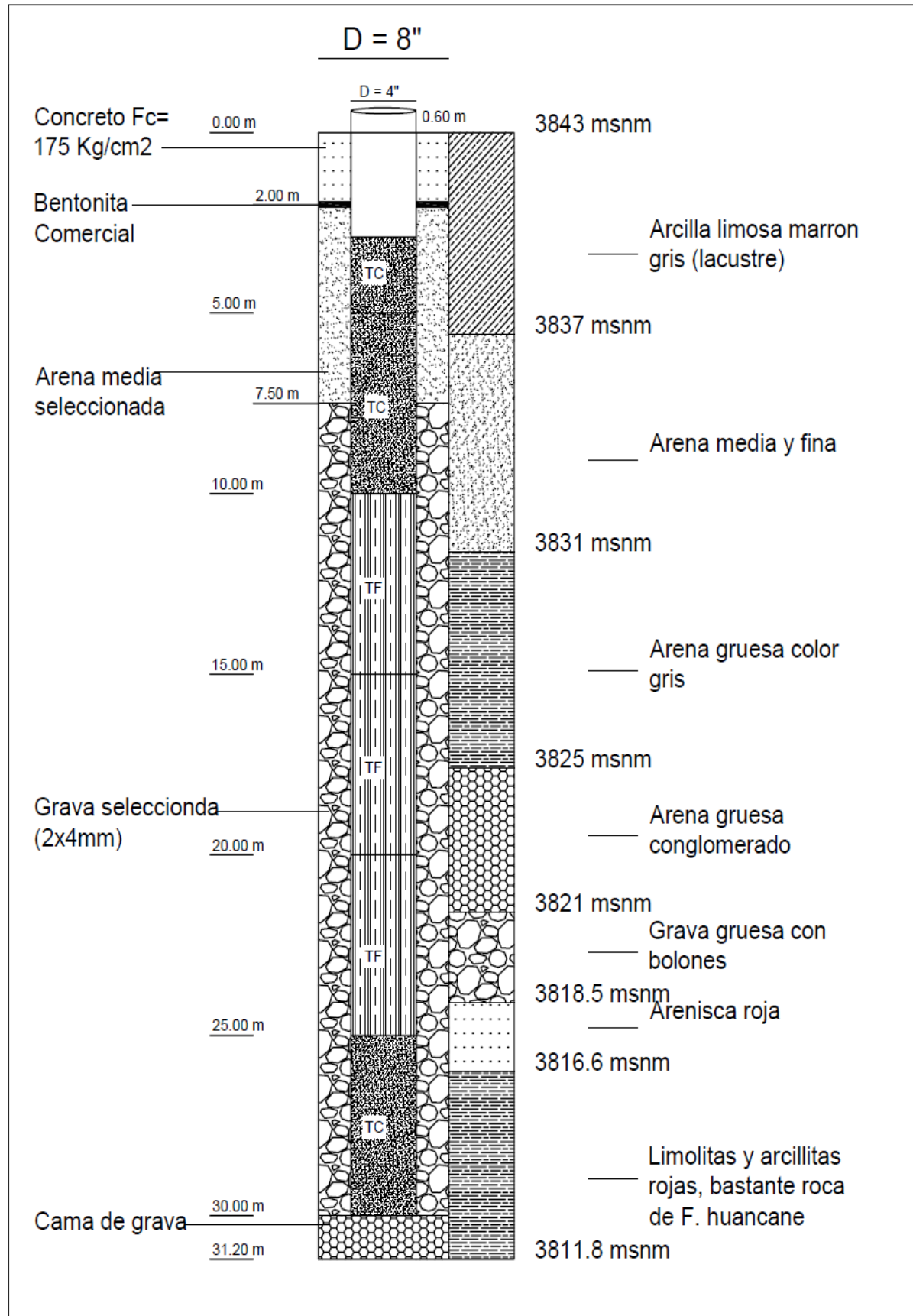
La limpieza del pozo consistió en aplicar el ensayo de inyección de aire o agua a presión utilizando entubamiento a manera de tubo aductor, los ciclos (inyección de aire para subir y bajar el nivel del agua hasta que deje de producir material fino) son aplicados en tramos de 5 metros de profundidad; finalizando con la recirculación de agua limpia para eliminar ripios del fondo del pozo y así eliminar cualquier tipo de elemento extraño que haya podido ingresar al pozo.

El tiempo empleado para el desarrollo del pozo fue en total de 6 horas; no siendo necesario más de ese tiempo debido a que luego de haber transcurrido 4 horas de limpieza (en esta etapa el registro visual mostraba eliminación de lodos y arenas muy finas) por lo que presentaba alta turbiedad; en las dos horas restantes se apreció la disminución de la turbiedad, presentándose imperceptible la turbiedad al concluir las 6 horas de desarrollo.

#### TRABAJOS DE CULMINACIÓN

Se colocó una loza circular de concreto ( $f_c=175 \text{ kg/cm}^2$ ) de radio 0.5 metros con altura de 0.20 m y desplante 0.50 metros; se eliminó material excedente y se instaló un cerco perimétrico de protección.

Tabla 18. diseño de completación del pozo





## V. CONCLUSIONES

En el Micro cuenca de Rukus se tiene la presencia de cinco unidades litológicas. La primera unidad corresponde a los depósitos del Cuaternario que funge como zona vadosa y acuífero libre somero, la siguiente unidad es un lente arcilloso de la formación Azángaro que actúa como acuitardo una capa confinante superior en algunas secciones del acuífero de relativa baja permeabilidad ya que permite la recarga del acuífero granular a través de él. La unidad 3 está conformada por la intercalación de areniscas y conglomerados de la formación Vilquechico, el cual es un acuífero granular del cual se extrae agua para abastecimiento de la ciudad de Chupa. Delimitando la parte baja al acuífero del Grupo Puno, La unidad 4 Formación Huancané, de predominante litología areniscosa aunque por su fracturamiento puede aportar en sus primeros 25 metros pequeñas cantidades de agua. La unidad 5 corresponde a otro paquete de baja permeabilidad de fondo rocoso.

El pozo exploratorio se ha ubicado en las coordenadas siguientes: 39 4397 E y 8332295 N. en el que se ha perforado hasta una profundidad de 31.2 metros, perforándose con normalidad hasta los 27.25m., a partir de este nivel el equipo tomo contacto con una roca de alta dureza. Instalándose la columna de producción del pozo, De acuerdo a la prueba hidráulica efectuada la eficiencia del pozo es de 1.0 l/s/m, lo que indica que el acuífero encontrado es de alta productividad y cuyo caudal de producción abastecerá la demanda de agua. El acuífero tiene un comportamiento de semiconfinado con parámetros hidrogeológicos predominantes como la transmisividad igual a  $TP = 0.0019 \text{ m}^2/\text{s}$  ( $168.22 \text{ m}^2/\text{día}$ ) y permeabilidad  $KP = 0.000072 \text{ m/s}$  ( $6.22 \text{ m/día}$ ), con un rendimiento de caudal específico de 1 l/s/m. además el radio hidráulico absoluto para el caudal de  $0.0032 \text{ m}^3/\text{s}$  , estas propiedades hidrogeológicas se utilizaron para caracterizar



el comportamiento hidráulico del acuífero. El pozo presenta un rendimiento explotable de 3.2 l/s con un nivel dinámico de metros.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar la implementación con fines de Prueba, el que debe quedar bajo custodia y protección de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS).

Es necesario que durante la ejecución se realice lo evaluación de los parámetros físico y químicos del agua.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Tesis doctoral presentada por Dña. Josefa Muñoz Sanz Universidad de las Palmas de Gran Canaria 2005
2. Tesis Bachiller: Aguirre Ramos, Jesús Guillermo, UNSA Arequipa 2018
3. ANA Autoridad Nacional del Agua , (2016), Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hidricos Superficiales , Lima-Perú
4. Auge Miguel, (2008), Hidrogeología Ambiental , Buenos Aires-Argentina
5. Auge Miguel. (2005), Perforaciones Hidrogeológicas, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires-Argentina
6. Autoridad Nacional del Agua, (2016), Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, Lima Perú
7. Hiscock & Bense, 2012, p.21
8. ENOHSa Ente Nacional de Obras hidráulicas de saneamiento, (2008), Principios Básicos de Hidrogeología , Buenos Aires Argentina
9. García Guerrero Alejandra Noemí (2012), Caracterización Hidrogeológica de un Sector del acuífero de Iguala estado de Guerrero, Tesis de Grado, Ciudad de México
10. Gilboa Yaakov (1977), La estructura y las dimensiones de los acuíferos aluviales en la costa del Perú , Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Lima-Perú
11. Gilboa Yaakov, (1978), El Modelo Hidrogeológico de los acuíferos costeros del Perú, Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Lima-Perú.
12. Hiscock M Kevin., Bense F. Victor. (2014), Hydrogeology Principles and practice, Second Edition,
13. Kosaka Masuno Roberto, Arias Barahona Hector, Farfán Bazan Eduardo, Gonzales





- Centeno Edgar, Minaya Lizarraga Armando, ( 2001), Evaluación de Peligros de Camaná, Arequipa-Perú
14. SUNASS Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, (2017), Nuevo Régimen Especial de Monitoreo y Gestión de Usos de Agua Subterráneas a Cargo de las EPS, Lima-Perú.
  15. Theis, C. V., 1935, The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, Transactions of the American Geophysical Union, v. 2, p. 519–524.
  16. Acosta, H. (2001). Estratigrafía y Tectónica entre Azángaro, Putina y alrededores, norte del Lago Titicaca (Puno-Perú), Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
  17. Audebaud, E., 1978, Metamorfismo precámbrico de baja presión en los andes orientales del Perú, - Bol. Estud. Especs. Perú 3; p. 65 – 75.
  18. Bally, A.W., (1981). Musings over sedimentary basin evolution. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, A305, 325-338.
  19. Bally A,W., (1984). Tetonogenése et réflexion sismique. Bull. Soc. Geol. France 7: 279-285.
  20. Bernal, I.,Tavara, H. (2002). Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en el Perú, Centro Nacional de Datos Geofísico / Instituto Geofísico del Perú, p. 12 – 16.
  21. Boyer, S; D. Elliott (1982). Thrust systems, AAPG Bull., 66(9), pp.1196–1230.
  22. Cabrera, A.; Petersen, G. (1936). Reconocimiento geológico de los yacimientos petrolíferos del departamento de Puno: Boletín del Cuerpo de ingenieros de Minas, Petróleo del Perú. versión 115, 100 p.
  23. Callot, P. (2008). La Formation Ayabacas (limite Turonien-Coniacien, Sud-Pérou) : collapse sous-marin en réponse à l’amorce de l’orogénèse andin. Tesis Doctoral, Universidad Paul Sabatier – Francia.



24. Carlos, G. (2016). Análisis Estructural y Sistema petrolero de la cuenca Titicaca (Puno - Perú). Tesis de Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima Perú.
25. Catuneanu, O. (2006). Principles of Sequence Stratigraphy. Department of Earth and Atmospheric Sciences University – Canada. 115
26. Carlotto, V.; Ibarra I.; Mamani, M.; Rodríguez, R. & Sempere T. (2004). Estratigrafía y tectónica de la parte Sur de la cuenca de Ayaviri. SGP N° 5.
27. Chamberlain, R. L., 1995, Structural geology of sub-andean fold-and-thrust belt in northwestern Bolivia, in Tankard, A. J., Suárez, S. R., and Welsink, H. J., eds., Petroleum basins of South America: American Association of Petroleum Geologists Memoir 62, p. 459–479.
28. Chapple, W. M. (1978). Mechanics of thin-skinned fold-and-thrust belts. Geological Society of America Bulletin 89, 1189-1198.
29. Dahlstrom, C. (1969). Balanced cross sections: Canadian Journal of Earth Science, 6(4), pp. 743-757.
30. Dalmayrac, B.; Laubacher G.; Marocco R. (1988). Caracteres Generales de la evolución Geológica de los andes peruanos. Bol N° 12. Serie D. INGEMMET. Lima – Perú.
31. De Jong, K. (1974). Melange (Olistostrome) near Lago Titicaca, Perú: The American Association of Petroleum Geologist Bulletin. Versión 58., pp. 729-741.
32. Emery, D.; Myers, K. J. (1996). Sequence Stratigraphy, Blackwell, Oxford, UK. 116
33. Galloway, W. E., (1989). Genetic Stratigraphic sequences in basin analysis. I. Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. American Association of Petroleum Geologists Bulletin v. 73.
34. Gonzalez R.; Woods R. (2008). Digital Image Processing. Tercera edición. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data on File. P. 394, p. 627.
35. Horton, B. (1997). The modern foreland basin system adjacent to the central Andes, Geology, 25, pp. 895 – 898.



36. Hunt, D.; Tucker, M. E. (1992). Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall. *Sedimentary Geology*, v. 81, p. 1-9.
37. INGEMMET (1995). "Geología del Perú". Boletín 55. Serie A: Carta Geológica Nacional, Lima – Perú.
38. Jaillard, E.; Capetta, H.; Ellenberger, P.; Feist, M.; Grambast-fessard, N.; Lefranc, J.-P. & Sige, B. (1993). The late cretaceous Vilquechico Group of Southern Perú, Sedimentology, paleontology, biostratigraphy, correlations.: *Cretaceous Research*. version 14., p. 623-661.
39. Jervey, M. T. (1988). Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross and J.C. Van Wagoner (eds.) *Sea Level Changes – An Integrated Approach*. SEPM Special Publication 42, p. 47-69,
40. Kontak, D.J.; Clark, A.H.; Farrar, E.; Strong, D.F. (1985). The rift associated Permo-Triassic magmatism of the Eastern Cordillera: a precursor to the Andean orogeny. In: Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J. & Beckinsale, R.D., eds. *Magmatism at a plate edge: the Peruvian Andes*; Blackie, Glasgow, 36-44. 117
41. Lavenu, A. (1988). – Formacion Geológica y evolución del Altiplano en la Cordillera Oriental y los Andes bolivianos. *Travaux et Documents Microfichés, ORSTOM, Paris*, 28 : 420 p.
42. McClay, K. R. (1981). *Glossary of thrust tectonics terms*. Department of Geology, Royal Holloway and Bedford New College, University of London, Egham, Surrey, England.
43. Marocco, R.; Laubacher, G. (1990). La Cuenca Cretácica del Altiplano Peruano: Litoestratigrafía e Interpretación Secuencial. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, versión 81, pp 33-46.



44. Monge, R. & Montoya, C. (2001) Mapa Geológico del Cuadrángulo de Moho, hoja 31-y-II (versión digital). INGEMMET.
45. Newell, N. (1949). Geology of the Titicaca region, Peru and Bolivia: Geological Society of America Memoir, versión. 36, p. 111.
46. Palacios, O.; De La Cruz, J.; De La Cruz, N.; Klinck, N.; Allison, R. & Hawkins, M. (1993), Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca-Sur del Perú, Lima; Editorial ALLAMANDA S.R.L, 257 páginas.
47. Perupetro S. A. (2008). The Hydrocarbon Potential of Titicaca Basin, Titicaca Basin Technical Report, p. 108.



## ANEXOS