

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA



**“EVALUACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA A TRAVES DE  
POZOS CON FINES DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE  
QUENAPAJJA - ACORA”**

**TESIS**

PRESENTADO POR:

Bach. LUIS CHURA ISCARRA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

PUNO - PERÚ

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA

**PROYECTO DE TESIS**

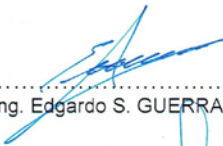
**“EVALUACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA A TRAVES DE  
POZOS CON FINES DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE  
QUENAPAJJA - ACORA”.**

**BACH. LUIS CHURA ISCARRA  
PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA**

**APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

PRESIDENTE :   
M. Sc. Oscar MAMANI LUQUE

PRIMER MIEMBRO : .....  
M. Sc. José Antonio MAMANI GOMEZ

SEGUNDO MIEMBRO :   
Ing. Edgardo S. GUERRA BUENO

DIRECTOR DE TESIS :   
M. Sc. Roberto ALFARO ALEJO.

PUNO - PERU

2015.

**ÁREA : Ingeniería y Tecnología**  
**TEMA: Modelamiento de aguas subterráneas**  
**LÍNEA: Recursos Hídricos**

## DEDICATORIA

*A Dios por la vida y la inteligencia que  
viene de él a Mí; y sobre todo a mis queridos  
padres, GREGORIO (+) Y AGRIPINA por su apoyo  
constante para la culminación de mis estudios,  
para triunfar en la vida profesional.*

*En la memoria de mi hermano TITO  
(+), que me guía desde el Cielo y me da  
fuerza sus recuerdos de hermano  
luchador y trabajador cuando estaba  
con vida.*

*A la engréida de mi corazón CECILIA y  
A mi querida hijita SALLY WENDY,  
por creer en Mí, por darme apoyo, felicidad  
y dicha en cada instante de mi vida.*

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno y a la Facultad de Ingeniería Agrícola, por haberme formado de manera integral, a lo largo de mi vida Universitaria.

El agradecimiento especial a la Gerencia de Infraestructura de la Municipalidad Distrital de Chucuito, Ing. Augusto H. Ortega Pilco y al Ing. Edwin Chucuya Canaza.

Al Director del presente trabajo al Ing. Roberto Alfaro Alejo por su interés y apoyo para llevar a buen término el presente trabajo.

Finalmente expreso mi sincera gratitud y agradecimiento a todos mis compañeros de la facultad por su apoyo desinteresado y aliento en la culminación del presente trabajo.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	4
GENERALIDADES.....	4
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>6</b>
1.1. JUSTIFICACION.....	6
1.2. ANTECEDENTES.....	7
1.3. OBJETIVOS.....	9
1.3.1. Objetivo General.....	9
1.3.2. Objetivos Específicos.....	9
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1. AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	10
2.1.1. Determinación de Aguas Subterráneas.....	10
2.1.2. Acuíferos.....	13
2.1.3. Clasificación de Acuíferos.....	14
2.2. CONSTANTES HIDROLÓGICOS DE UN ACUÍFERO.....	18
2.2.1. Conductividad Hidráulica (K).....	18
2.2.2. Transmisibilidad.....	26
2.2.3. Porosidad.....	28
2.2.4. Balance Hidrológico.....	33
2.2.5. Calidad de Agua con Fines de Riego.....	34
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
3.1. UBICACIÓN DE ÁREA DE PROYECTO .....	38
3.1.1. Ubicación Política.....	38
3.1.2. Ubicación Geográfica.....	38
3.2. ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	38
3.2.1. Área de Estudio.....	38

3.2.2.	Vías de Comunicación y Acceso.....	40
3.2.3.	Clima.....	40
3.2.4.	Topografía.....	40
3.2.5.	Geología de la Zona.....	41
3.2.6.	Recursos Naturales.....	41
3.2.7.	Aspecto Económico Social.....	42
3.2.8.	Servicios Básicos.....	43
3.3.	MATERIALES.....	43
3.3.1.	Material Experimental.....	43
3.3.2.	Material Recopilado.....	43
3.3.3.	Material de Campo.....	44
3.3.4.	Material de Gabinete.....	44
3.4.	METODOLOGÍA.....	44
3.4.1.	Planteamiento y Análisis de la Investigación.....	45
3.4.2.	Determinación de la conductividad Hidráulica.....	46
3.4.2.1.	Método de Campo.....	46
3.4.2.2.	Método de Hooghoudt Ernest.....	48
3.4.2.3.	Método de Ensayos Lefranc.....	51
3.4.2.4.	Método de Gilg Gavard.....	52
3.4.2.5.	Determinación de la Porosidad Efectiva.....	53
3.4.3.	Estudio del Comportamiento de la Napa Freatica.....	54
3.4.3.1.	Inventario de Fuentes de Aguas Subterráneos.....	55
3.4.3.2.	Lecturas del Nivel Freático.....	57
3.4.3.3.	Construcción de Planos Isohypsas.....	57
3.4.3.4.	Construcción de Planos de Mínimos Niveles Freáticos.....	58
3.4.3.5.	Construcción de Planos de Incrementos.....	59
3.4.3.6.	Construcción de Hidrogramas de Pozos.....	59
3.4.4.	Determinación del Balance Hídrico.....	61
3.4.5.	Evaluación de Aguas Subterráneas con fines de riego.....	61
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	63
4.1.	DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y LA POROSIDAD EFECTIVA.....	63
4.1.1.	Determinación de la Conductividad Hidráulica.....	63

4.1.2.	Determinación de la Porosidad Efectiva.....	67
4.1.3.	Relación entre la Conductividad Hidráulica y la Porosidad.....	68
4.2.	<b>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA NAPA FREÁTICA.....</b>	<b>68</b>
4.2.1.	Inventario de Fuentes de Agua Subterráneas.....	68
4.2.2.	Lectura de la Napa Freática.....	71
4.2.3.	Interpretación de Planos Isohypsas.....	73
4.2.4.	Interpretación de Planos de Mínimos Niveles Freáticos.....	75
4.2.5.	Interpretación de Hidrograma de Pozos.....	77
4.3.	<b>BALANCE HÍDRICO.....</b>	<b>77</b>
4.3.1.	Determinación de las Reservas Variables de Agua Subterránea.....	77
4.3.2.	Determinación de Agua para el Cultivo de Alfalfa.....	78
4.3.3.	Balance Hídrico.....	78
4.4.	<b>EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEAS CON FINES DE RIEGO.....</b>	<b>83</b>
V.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
5.1.	Conclusiones.....	85
5.2.	Recomendaciones.....	87
5.3.	Bibliografía.....	88

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 01: Caracterización de los acuíferos.....	18
Cuadro N° 02: Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos.....	19
Cuadro N° 03: Valores del coeficiente de permeabilidad.....	20
Cuadro N° 04: Clasificación de la Conductividad Hidráulica.....	21
Cuadro N° 05: Intervalos de la conductividad según la textura y estructura del suelo que conforma.....	21
Cuadro N° 06: Clasificación de la Conductividad Hidráulica.....	22
Cuadro N° 07: Intervalos de magnitud de la Conductividad Hidráulica.....	23
Cuadro N° 08: Rangos de Porosidad.....	28
Cuadro N° 09: Intervalos de Porosidad Representativa.....	29
Cuadro N° 10: Valores de la Porosidad Drenable en relación de la Textura.....	31
Cuadro N° 11: Criterios e índice para clasificar Agua de Riego.....	35
Cuadro N° 12: Clasificación de Agua de Riego por Conductividad Hidráulica.....	35
Cuadro N° 13: Clasificación de Agua de Riego por su Salinidad	
Efectiva.....	36
Cuadro N° 14: Clasificación de Agua de Riego por su Carbonato de Sodio	
Residual.....	36
Cuadro N° 15: Clasificación de Agua de Riego por su Porcentaje de Sodio.....	36
Cuadro N° 16: Clasificación de Agua de Riego por su Contenido de Boro.....	37
Cuadro N° 17: Clasificación de Agua de Riego por su Contenido de Cloruro.....	37
Cuadro N° 18: Vías de Comunicación y Acceso.....	40
Cuadro N° 19: Valores Obtenidos de la Conductividad Hidráulica.....	64
Cuadro N° 20: Valores Obtenidos de la Porosidad Efectiva.....	67
Cuadro N° 21: Conductividad Hidráulica en función de la porosidad Efectiva.....	68
Cuadro N° 22: Inventario de Pozos En la Comunidad de	
Quenapajja.....	70
Cuadro N° 23: Lectura del Nivel Freático.....	72
Cuadro N° 24: Oferta de Agua Subterránea.....	80
Cuadro N° 25: Demanda de Agua Subterránea.....	81



<b>Cuadro N° 26: Balance Hídrico.....</b>	<b>82</b>
<b>Cuadro N° 27: Resultado de laboratorio Análisis.....</b>	<b>83</b>
<b>Cuadro N° 28: Valores normales para Análisis de Agua .....</b>	<b>84</b>

### LISTA DE FIGURAS

<b>Figura N° 01: Tipos de corrientes influente y efluente.....</b>	<b>11</b>
<b>Figura N° 02: El Agua en las distintas profundidades de la corteza terrestre.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura N° 03: Tipos de acuíferos.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura N° 04: Parámetros a Usar para el cálculo de K.....</b>	<b>24</b>

### LISTA DE MAPAS

<b>Mapa N° 01: Mapa de Ubicación comunidad Quenapajja.....</b>	<b>35</b>
<b>Mapa N° 02: Mapa cota de Terreno.....</b>	<b>57</b>
<b>Mapa N° 03: Plano de la Conductividad Hidráulica.....</b>	<b>58</b>
<b>Mapa N° 04: Mapa de Hisohypsas.....</b>	<b>66</b>
<b>Mapa N° 05: Mapa de Mínimas Niveles.....</b>	<b>68</b>

### LISTA DE ABREVIATURAS

**U.N.A.:** Universidad Nacional del Altiplano.

**CARE:** Cooperative for Assistance and Relief Everywhere, Inc.

**FONCODES:** Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social.

**INRENA:** Instituto Nacional de Recursos Naturales.

**FAO:** Food And Agriculture.

## ANEXO

### **Datos de la prueba de Bombeo:**

Prueba de bombeo Pozo N° 001

Prueba de bombeo pozo N° 003

Prueba de bombeo pozo N° 006

Prueba de bombeo pozo N° 009

Prueba de bombeo pozo N° 012

Prueba de bombeo pozo N° 016

### **Determinación de la Conductividad Hidráulica Método Ernest**

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 001

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 003

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 006

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 009

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 012

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 016

### **Determinación de la Conductividad Hidráulica Método Ensayos Lefranc**

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 001

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 003

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 006

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 009

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 012

Determinación de la Conductividad Hidráulica Pozo N° 016

## **Hidrograma de pozos**

GRAFICO N° 01 Hidrograma de Pozos N° (01,02,03)

GRAFICO N° 01 Hidrograma de Pozos N° (04,05,06)

GRAFICO N° 01 Hidrograma de Pozos N° (07,08,09)

GRAFICO N° 01 Hidrograma de Pozos N° (10,11,12)

GRAFICO N° 01 Hidrograma de Pozos N° (13,14,15)

GRAFICO N° 01 Hidrograma de Pozos N° (16)

## RESUMEN

El presente trabajo denominado Evaluación de agua subterránea a través de pozos con fines de riego se realiza en la comunidad de quenapajja del distrito de Acora departamento de Puno, ubicado en las coordenadas geográficas de latitud NORTE: 8216671.81 y longitud oeste: 425060.44 a una altitud media de: 3850.00 m.s.n.m. y en una superficie cubierto del cultivo de alfalfa de 15.00 has el cual se pretende regar con las aguas subterránea, en esta zona del altiplano se inventariaron 16 pozos a tajo abierto excavados en forma manual durante los años 2005 y 2006 los diámetros de los pozos varían entre 01.50 m y 1.00 m, con profundidades de 3.00 m el menos profundo y el más profundo de 6.00 m, asimismo las paredes de 15 pozos son de una estructura de concreto armado con anillos y 01 pozo sin ninguna estructura.

Para ello se tiene que encontrar los valores de la conductividad hidráulica (K) se determinaron utilizando los métodos de Ernest y Lefranc, en el acuífero los cuales varían desde 0.277 m/día hasta 0.868 m/día y fueron determinados con las pruebas de bombeo en 06 pozos (pozo 01, pozo 03, pozo 06, pozo 09, pozo 12, pozo 16,) identificados estratégicamente. Para determinar la porosidad efectiva se utilizó la formula empírica desarrollado por Van Beers el cual nos permite calcular la porosidad efectiva en cada pozo bombeado cuyos resultados varían desde 5.796% y 8.483%.

Durante 10 meses correspondientes entre Setiembre del 2014 y Junio del 2015 se realizaron lecturas del nivel freático, las variaciones del nivel freático en función del tiempo registra el valor más profundo con 3.35 m en el pozo N° 07 en el mes de octubre del 2014 y el nivel más próximo a la superficie terrestre se registra en el pozo N° 16 con un valor de 1.00 m en el mes de febrero del 2015. Asimismo se logró construir los mapas de isohypsas, mapa de mínimos niveles freáticos, e hidrograma de pozos, en el mapa de isohypsas construido con las oscilaciones medias del nivel

freático en cada pozo durante los diez meses, analizando la tendencia de las líneas equipotenciales la napa freático es radial con hilillos convergentes hiperbólicos, según el eje y dirección del flujo se aprecia que las aguas subterráneas se mueven desde las partes altas hacia las partes bajas de la micro cuenca obedeciendo a la gravedad terrestre, la distribución de la curvas isohypsas indican las zonas de alimentación del acuífero que provienen de las partes altas de la micro cuenca cuya fuente principal son las precipitaciones pluviales que se presentan durante el año, las zona de drenaje corresponde a la parte baja de la micro cuenca en el que se aprecia un afloramiento en mínimas cantidades de agua, debido a que en esa zona existe pastizales, en el mapa de incrementos se observa que las principales recargas del agua subterránea corresponde a precipitaciones pluviales debido a que en los meses de mayor precipitación se presenta un incremento del nivel freático.

En los hidrogramas obtenidos para cada pozo se observa la velocidad con que el nivel freático asciende y desciende en el transcurso del tiempo, el ascenso más alto que el nivel freático alcanza una velocidad de 0.83 m. y el descenso más bajo del nivel freático desciende 0.44 m/año, asimismo de los hidrogramas se observa que la fuente de alimentación del acuífero corresponde a precipitaciones pluviales ya que en los meses donde las precipitaciones son intensas y mayores el nivel freático asciende y se aproxima a la superficie terrestre pero cuando cesa las precipitaciones pluviales el nivel freático comienza a descender lentamente posicionándose en un punto crítico bajo. Además de los hidrogramas obtenidos para cada pozo se ve la tendencia de cada una de las curvas nivel freático (m) vs tiempo (mes) se aproxima a la curva además todas la curvas tienden a los mismo, lo que indica que el acuífero en su composición de material es homogéneo.

Para el establecimiento del balance hídrico implica realizar los cálculos de oferta de agua subterránea y demanda de agua para el cultivo de la alfalfa,

para determinar la oferta de agua subterránea se consideró para cada mes la las reservas variables del acuífero que fluctúan durante el año, mas no se considera las reservas permanentes del acuífero, la porosidad efectiva del acuífero se determinó en función de la conductividad hidráulica, la oferta de agua es de 2.93 MM3 anual, la demanda de agua se realizó para el cultivo de la alfalfa, las necesidad hídrica obtenida es de 0.24 MM3 anual. El establecimiento del balance hídrico implica realizar una diferencia entre la oferta de agua y la demanda de agua el cual nos da un resultado de superávit de agua subterránea de 2.69 MM3 anual, lo que nos lleva a la conclusión de que el agua subterránea ubicada en la comunidad de Quenapajja, nos abastecerá para el riego del cultivo de la alfalfa.

El análisis físico – químico de las muestras de agua tomadas en los pozos N° 02, pozo N° 6, analizado en el Mega laboratorio de Investigación Ambiental – Suelo y Agua de la UNA – PUNO, comparando los resultados con parámetros se llega a la conclusión que el agua subterránea analizada es apto para fines de riego.

De todo el resumen mencionado en los párrafos anteriores se llega a la conclusión que los valores de conductividad hidráulica de los pozos ubicados en la comunidad de Quenapajja son óptimos para la explotación del agua subterránea con fines de riego del cultivo de la alfalfa, el acuífero presenta reservas variables favorables y la calidad de agua para riego no necesita ningún tipo de tratamiento por lo que el trabajo realizado tiene resultados positivos.

## INTRODUCCIÓN

### GENERALIDADES

Los recursos hídricos en la naturaleza son renovables pero limitados, y como el agua es un elemento fundamental para la vida del hombre y los animales, así como para el desarrollo de la agricultura y la industria, esa limitación se está haciendo sentir más intensamente día a día, aun en aquellos países que cuentan con abundancia de precipitaciones anuales que son la fuente cíclica de renovación de los recursos hídricos. Esta situación se debe fundamentalmente al crecimiento de la población humana y a los problemas medioambientales del mundo moderno, esta situación se agudiza más en las regiones áridas y en los países del mundo sub desarrollado que todavía no han alcanzado su independencia política y económica.

Hasta hace poco tiempo se consideraba que la ley de Darcy que establece una correspondencia lineal entre la velocidad y el gradiente hidráulico, era la ley general aplicable al flujo de agua subterránea. Las investigaciones más recientes demuestran que es necesario utilizar una ley no lineal para expresar la forma general del movimiento del agua subterránea. En los acuíferos de gran conductividad hidráulica es muy frecuente la ocurrencia del flujo no lineal, aunque este tipo de flujo se presenta también en acuíferos de baja conductividad, esto hace imprescindible la utilización del enfoque no lineal como criterio general, al analizar el movimiento del agua subterránea.

El conocimiento de los recursos de las aguas subterráneas, la evaluación de sus reservas su explotación racional y su conservación son de vital importancia para la valorización del desarrollo agrícola económico e industrial de una región. Las aguas subterráneas ofrecen grandes ventajas

como la regulación de caudales por acumulación natural y la protección contra las pérdidas por evaporación. Sin embargo su protección y explotación requieren medios técnicos particulares que las investigaciones llevadas a cabo en estos últimos años permiten actualmente abordar métodos para la explotación racional.

Las aguas subterráneas presentan una riqueza natural a menudo de vital importancia formada a lo largo de numerosos siglos y aun milenios, difícil de incrementar o incluso a veces de renovar. Esta herencia debe conservarse en cantidad y calidad y debe usarse con prudencia. Todo programa de explotación se establecerá con el fin fundamental de evitar el agotamiento causa de graves fracasos y de crisis económicas y humanas considerables de ahí la importancia del balance hídrico.

El empleo de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento para cualquiera de sus diversificados usos, ha demandado un esfuerzo técnico y científico el cual ha devenido en las últimas décadas a un conocimiento avanzado de las aguas subterráneas. Este conocimiento sin embargo no ha sido bastante difundido principalmente en nuestro país en el cual hasta la fecha se ha venido buscando y explotado el recurso de una manera empírica para dar respuesta a las siguientes preguntas. ¿Cómo se presenta el agua subterránea? ¿Qué tan amplia es su distribución y que tan confiable es como fuente de abastecimiento? ¿Cómo puede protegerse y utilizarse? La ciencia llamada hidrogeología, dedicada al estudio de las aguas subterráneas, ha madurado en el esfuerzo por dar respuestas detalladas a estas y otras preguntas relacionadas.



## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la comunidad de Quenapajja, existen 16 pozos a tajo abierto los cuales fueron excavados y construidos con el fin principal de abastecer de agua para consumo humano de los pobladores y con otros fines menores, en el año 2006 la Municipalidad distrital de Acora realiza los estudios e instalación del proyecto en la comunidad de Quenapajja, actualmente se viene proyectando para la construcción de agua potable para la comunidad de Quenapajja, con lo cual los pozos antes mencionados quedarán en su mayoría en desuso.

Con la actual política del estado Peruano y de los municipios locales (Municipalidad distrital de Acora) de promover e impulsar la actividad agropecuaria con fines de explotación del ganado vacuno para carne y leche, en los últimos cuatro años se han instalado en algunas zonas de alfalfa con el fin de abastecer de alimentación al ganado vacuno.

En la comunidad de Quenapajja, las alfalfas carecen de un sistema de riego, abasteciéndose como única fuente de agua las precipitaciones pluviales que se presentan en los meses de enero a marzo, por lo que surge la necesidad de abastecer de agua en los meses de abril a diciembre donde se presentan mínimas cantidades de precipitaciones pluviales.

Es así que se plantea abastecer de agua subterránea con fines de riego de la alfalfa recurriendo a los acuíferos existentes en la zona, el presente trabajo tiene el objetivo de estimar o calcular si el agua subterránea existente podría abastecer el riego de las alfalfas existentes en los meses donde se presentan escasas precipitaciones pluviales.

## 1.1. JUSTIFICACION

Debido a sus actividades diarias de los comuneros de Quenapajja, es necesario el aprovechamiento de aguas subterráneas, es tarea de los gobiernos locales implementar proyectos de riego, Por tanto este proyecto de investigación es necesario con las cuales nos permita contar con herramientas que garanticen la toma de decisiones acertadas para un aprovechamiento sostenible de aguas subterráneas.

Con el presente trabajo de investigación se pretende aportar, con el abastecimiento de aguas subterráneas con fines de riego de alfalfa, para mejorar el rendimiento de la crianza de ganado vacuno, que es el sustento de la mayoría de los pobladores de la comunidad de Quenapajja.

## 1.2. ANTECEDENTES

La utilización de las aguas subterráneas se remonta a la antigüedad, desde la época de las civilizaciones antiguas de Persia y Egipto donde se construyeron galerías que captan el agua y se transportan a grandes distancias. Sin embargo los primeros estudios sobre el flujo de aguas subterráneas se remontan a 1580 cuando el francés Andrés Bernardo de Palissy había reiterado la teoría de la infiltración, en la segunda parte del siglo XVII Perrault en el Sena estableció que la precipitación en la cuenca del río era seis veces mayor que el caudal de este, los trabajos de Perrault fueron confirmados por el físico francés Edme Mariotte considerado como el fundador de la hidrología subterránea, su trabajos publicados en 1686 demostraban con gran número de datos la teoría de la infiltración, de este modo quedaban establecidas las bases de lo que hoy se conoce como el ciclo hidrológico.

El trabajo del Francés Henri Darcy publicado en 1856, sobre el movimiento del agua a través de capas de arena, sirvió de base para explicar el movimiento del agua subterránea a través de los acuíferos, y fue utilizado en el mismo siglo por varios científicos (dupuit, thiem, y forchheimer entre otros) para encontrar leyes cuantitativas del flujo hacia las estructuras de captación.

**Ministerio de Agricultura, Dirección General de Aguas y Suelos, ATDR (2002)**, Se realiza el estudio titulado: “Inventario y Monitoreo de aguas Subterráneas en el valle de Asia - Omas - Lima”, El estudio tiene como objetivo general evaluar el estado actual de los recursos hídricos subterráneos, de manera que permita proporcionar información suficiente sobre las fuentes de agua, la explotación actual y las posibilidades futuras de explotación de las aguas, y uno de sus objetivos específicos es: Determinar la calidad del recurso hídrico.

En la década de los años 1990 – 2000 se perforaron los primeros pozos a tajo abierto en la zona media del distrito de Acora, con bombas manuales construidos por la entidad CARE Perú los mismos que resultaron con buen rendimiento de gran utilidad para los pobladores de las zonas rurales del distrito de Acora, sin embargo en la actualidad dichos pozos colapsaron por haber cumplido con su vida útil y por falta de mantenimiento adecuado.

El Fondo de Compensación para el Desarrollo social (FONCODES), en su plan de explotación de las aguas subterráneas en los años de 1998 realizó la ejecución de pozos tipo FLEXI OPS que resultaron de gran utilidad para el poblador rural pero que en la actualidad también colapsaron, ya no se le da el uso.

En la comunidad de quenapajja, existen 16 pozos a tajo abierto los cuales fueron excavados y construidos con el fin principal de abastecer de agua para consumo humano y con otros fines menores, en el año 2006 por la municipalidad Distrital de Acora.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo General

- Evaluar el comportamiento de los niveles del agua subterránea a través de pozos tubulares, en la comunidad de Quenapajja con fines de riego.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las relaciones entre la conductividad hidráulica y la porosidad efectiva.
- Analizar el comportamiento de la napa freática mediante la construcción de mapas e hidrogramas.
- Evaluar el balance hídrico y la calidad de agua subterránea con fines de riego del cultivo de alfalfa.

## II. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. AGUAS SUBTERRÁNEAS

#### 2.1.1. DEFINICIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea es considerada frecuentemente una fuente inagotable, pero recientemente las circunstancias indican que el agua subterránea es muy vulnerable a la contaminación y a su desaparición. En el sureste, la contaminación es la mayor amenaza. Se han encontrado contaminantes que amenazan a la salud de las personas en la mayoría de las reservas de agua subterránea de la región. Podría ser muy costoso el remover algunos de estos contaminantes, por lo cual el agua resulta virtualmente inservible por varios debido a esta amenaza, es importante entender el proceso mediante el cual el agua subterránea se hace disponible para su uso y como las actividades humanas algunas veces ponen en peligro este recurso. (Montaño, X.J. 2012), (10).

El agua subterránea fluye a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos. La mayoría de estos devuelve el agua a los mares o la lleva a cuencas cerradas donde se evapora.

De esta manera, el agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en cada momento en los continentes. Éstas están almacenadas en acuíferos, ubicados a diferentes niveles de profundidad, hasta sistemas confinados que están a varios kilómetros por debajo de la superficie. Se pueden encontrar aguas subterráneas en casi cualquier parte, tratándose de zonas húmedas, áridas o semiáridas. El agua del subsuelo es un recurso importante, pero de difícil gestión, por sus

sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación. (Ordoñez, G.J. J. 2011), (11).

Es el agua que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático. Las aguas subterráneas provienen de la infiltración directa en el terreno de las lluvias, nieves, o indirectas de ríos o lagos. (Mogg, J. L. 1980), (9).

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en las capas superiores del suelo mientras que la percolación es el movimiento del agua en las capas del subsuelo.

Corriente influente: se produce un aporte de las aguas superficiales a las aguas subterráneas.

Corriente efluente: se produce un aporte de las aguas subterráneas a las aguas superficiales.

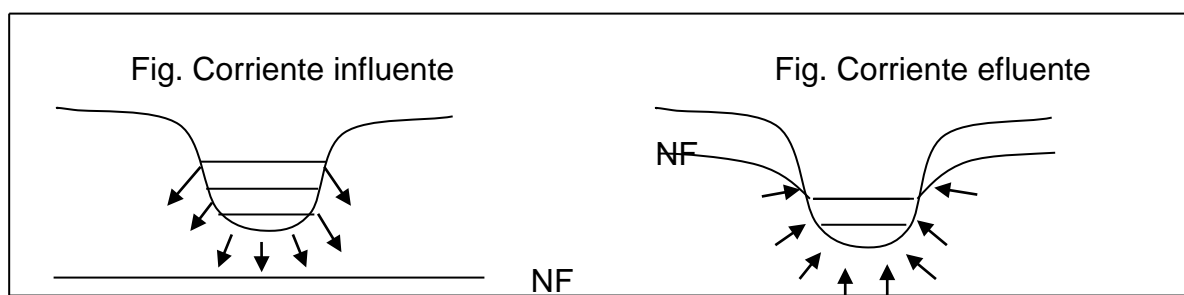


Figura N° 01: Tipos de corrientes influente y efluente.

Fuente: Mogg, J. L. (1980).

El agua que se infiltra en el terreno y queda por debajo de la superficie de este, sufrirá un proceso que va a permitir que al ocupar los intersticios o poros del terreno, quede situada a distintas profundidades, ocupando dos zonas: la zona no saturada o de aireación y la zona de saturación. En la zona de aireación los intersticios están ocupados parcialmente por agua y por aire, y el agua en exceso drena verticalmente por acción de la gravedad.

hasta alcanzar la zona de saturación. En la zona de saturación todos los intersticios están ocupados por agua sometida además a presión hidrostática, el agua contenida en la zona de aireación se designa como agua suspendida o vadosa, el agua de la zona de saturación es la que se considera agua subterránea propiamente dicha. (Pérez, F. D. 1995), (12). 1995), (12).

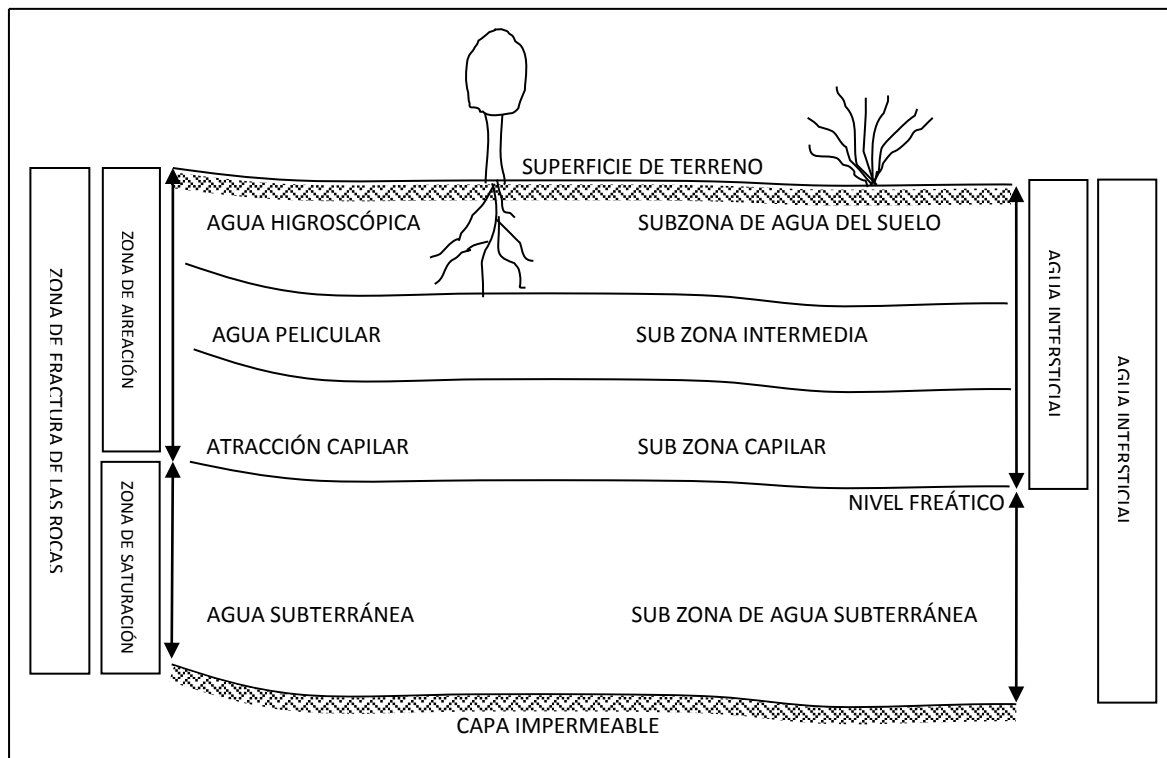


Figura N° 02: El Agua en las distintas profundidades de la corteza terrestre.  
Fuente: Pérez, F. D. (1995).

La precipitación que cae en tierra es el origen de prácticamente toda el agua dulce. Parte de esta precipitación, después de mojar las hojas y el suelo, corre por la superficie terrestre a los cursos de agua constituyendo el escurrimiento superficial y otra se infiltra en el suelo. Mucha de esta última es retenida en la zona de las raíces de las plantas y parte de ella vuelve a la atmósfera por la evapotranspiración. El excedente percola de la zona de

raíces hacia abajo por la fuerza de gravedad y continúa su descenso hasta ingresar a un reservorio de agua subterránea. (Espinoza, C. 2004), (5).

### 2.1.2. 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 no todas las formaciones geológicas tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua, encontrándose formaciones que pudiendo contener agua no la transmiten en condiciones naturales y por lo tanto no es posible extraerla, son los llamados acuicludos. (Collazo P. 2012), (2).

Acuífero es una formación geológica, grupo de formaciones o parte de una formación que contiene material saturado y suficientemente permeable para proveer de cantidades significativas de agua a pozos y manantiales. (Price, M. 2003), (13).

El acuífero como unidad geológica de estructura permeable que permite el almacenamiento y el movimiento del agua a través del material que lo constituye. (Pulido, C. J.), (15).

Se entiende como acuífero la parte saturada del perfil del suelo y que tiene la facilidad de almacenar y transmitir el agua. El perfil del suelo está conformado por sedimentos no consolidados o débilmente consolidados, depositados horizontalmente o simplemente estructurados en capas mejor o peor definidas, una característica común de estas capas es la de ser de poco espesor en relación con su extensión horizontal.( Pimenta, J. 1980), (13).

Dentro de las aguas emergidas no todas van a parar directamente al mar, ni se evaporan. Parte de las aguas quedan atrapadas en puntos bajos que no



tienen salida, las cuencas endorreicas, o en cuencas cuya salida es mucho menor que el caudal de entrada, o se acumulan bajo el suelo, los acuíferos. En estos dos modelos generales encontramos, según sus características, diferentes tipos.

- a) Acuífero: formación geológica que almacena volúmenes de agua que se mueven con facilidad a través de él (por ejemplo, arenas y gravas).
- b) Acuicluda: formación geológica que almacena volúmenes de agua que se mueve lentamente e ineficientemente a través de ella (por ejemplo, limo, arcilla).
- c) Acuitardo: formación geológica que almacena agua que prácticamente no se mueve (por ejemplo, rocas compactas).
- d) Acuífugo: formación geológica que no es capaz de almacenar agua (por ejemplo, granito inalterado). (Collazo, M. P. 2012), (2).

### 2.1.3. Clasificación de acuíferos

Clasifica los acuíferos en:

Acuíferos colgados; se presentan por debajo del nivel freático una o más capas de material de baja conductividad hidráulica, el agua que se infiltra es detenida por esta capa para formar una lente de agua la cual es generalmente de extensión limitada y se encuentra sobre la zona de saturación del acuífero principal. (Price, M. 2003), (14).

Acuífero libre; la parte superior de la zona saturada (nivel freático) está a presión atmosférica, a cualquier profundidad por debajo del nivel freático, la presión es más grande que la atmosférica y en cualquier punto arriba de este nivel la presión es menor que la atmosférica.

Acuífero confinado; el espesor efectivo del acuífero se encuentra entre dos capas de baja permeabilidad y en cualquier lugar la presión es mayor que la atmosférica. Si se perfora un pozo a través de la capa confinante superior, el agua ascenderá por el pozo hasta que la columna de agua sea lo suficientemente grande para contrarrestar la presión del acuífero.

Las capas que contienen agua subterránea se combinan en sistemas acuíferos, para un tratamiento matemático de los problemas de flujo superficial un sistema acuífero debe ser relativamente simple y pertenecer a alguno de los siguientes tipos:( Castany, G. 1995), (1).

Acuífero libre; llamado también acuífero freático o capa freática es una formación permeable saturada limitada en su parte inferior por una capa impermeable. El límite superior está formado por la tabla de agua la que se encuentra en equilibrio con la presión atmosférica, el agua en un acuífero libre se llama agua freática o libre.

Acuífero confinado; es una formación completamente saturada de agua y cuyos límites superior e inferior son capas impermeables. En los acuíferos confinados, la presión del agua en ellos es generalmente mayor que la atmosférica, por tal razón el agua en pozos que penetran en tales acuíferos permanece por encima del nivel superior de las capas permeables, el agua de un acuífero confinado se denomina agua confinada o agua artesisiana.

Acuífero semiconfinado; es una formación permeable saturada cuyo límite superior está constituido por una capa semipermeable y cuyo límite inferior puede ser una capa impermeable o semipermeable. En la capa superior se encuentra la tabla de agua cuya altura difiere a menudo a la carga piezométrica y el agua confinada en la capa permeable.

Acuífero semilibre; es en realidad una formación casi semiconfinada en la cual la conductividad hidráulica de la capa semipermeable es tan grande que la componente horizontal de flujo de esta capa no puede ser despreciada. Este tipo de acuífero es una forma intermedia entre el tradicional acuífero semiconfinado y el acuífero libre.

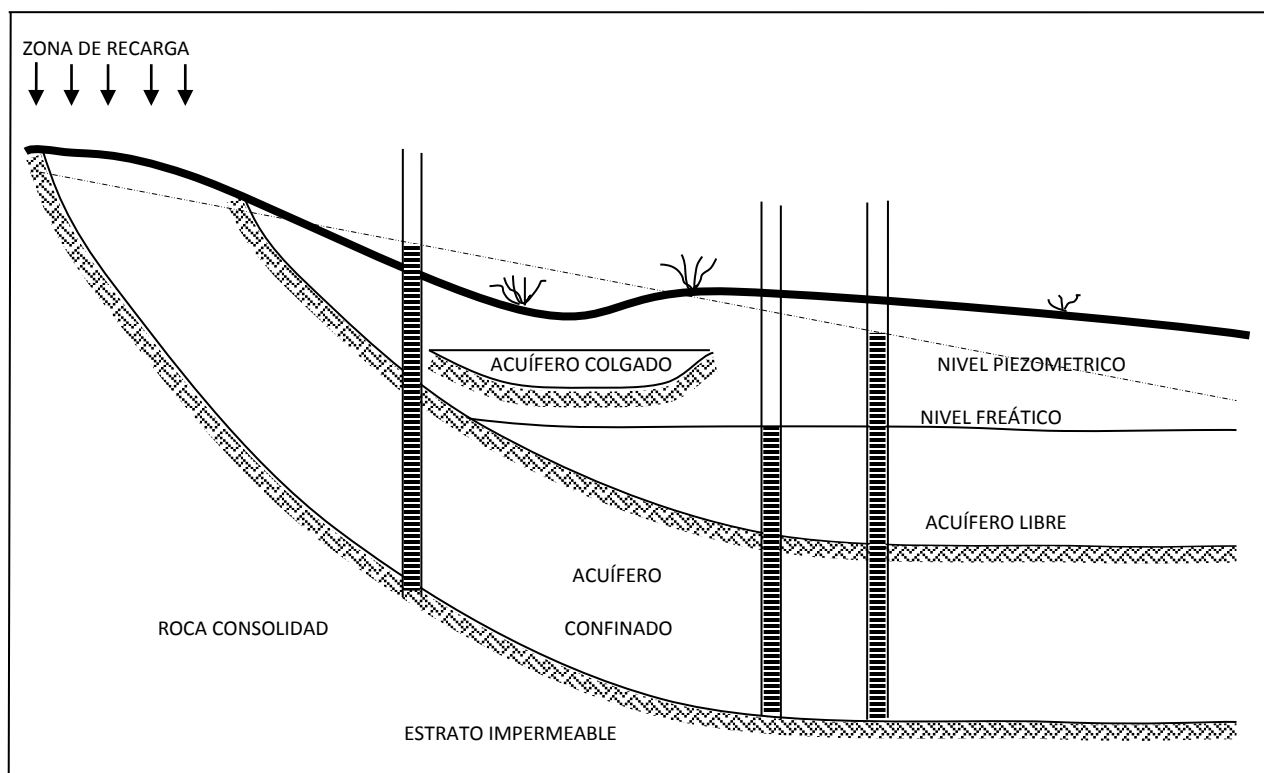


Figura N° 03: Tipos de acuíferos.

Fuente: Castany, (1995).

De acuerdo con el grado de confinamiento de las aguas que contienen los acuíferos se clasifican en:

Acuíferos libres; son aquellos en que el agua subterránea presenta una superficie libre sujeta a la presión atmosférica, como límite superior de la zona de saturación, está formado en general por un estrato permeable parcialmente saturado de agua que yace sobre otro estrato impermeable o semipermeable. En la mayoría de los casos existe solamente un nivel freático pero en otros a causa de la presencia de acuitados de pequeñas dimensiones relativas pueden existir acuíferos que se denominan acuíferos colgados. (Pérez, F. D. 1995), (12).

Acuíferos confinados o artesianos; son formaciones geológicas permeables completamente saturados de agua, confinadas entre dos capas o estratos impermeables. En estos acuíferos el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica y al perforar un pozo en ellos el agua se eleva por encima de la parte superior del acuífero hasta un nivel que se denomina nivel piezométrico.

Acuíferos semiconfinados; son acuíferos completamente saturados sometidos a presión, que están limitados en su parte superior por una capa semipermeable (acuitardo) y en su capa inferior por una capa impermeable (acuicierre o acuífugo) o también por otro acuitardo. En este tipo de acuífero la disminución de la carga piezométrica originada por el bombeo, inducirá un flujo vertical del agua contenida en el acuitardo que actuara como recarga del acuífero.

Acuíferos semilibres; presentan una situación intermedia entre un acuífero libre y uno semiconfinado. En este caso la capa confinante superior es un estrato semipermeable o acuitardo de características tales que la componente horizontal del flujo no se puede ignorar.

Cuadro N° 01: Caracterización de los acuíferos.

CAPA SUPERIOR	TIPO DE ACUÍFERO
Impermeable (acuicierre)	Confinado
Semipermeable (acuitardo) donde se puede ignorar la componente horizontal del flujo	semiconfinado
Semipermeable (acuitardo), menos permeable que la parte principal del acuífero, en el que hay que tomar en cuenta la componente horizontal del flujo.	Semilibre
Igual que la parte principal del acuífero	libre

Fuente: Pérez, F. D. (1995).

## 2.2. Constantes hidrogeológicas de un acuífero

### 2.2.1. Conductividad hidráulica(K)

El coeficiente de permeabilidad fue enunciado por primera vez por Darcy en 1856. Se mide en unidades de velocidad (m/seg, m/día, cm/día) y es quizás el parámetro hidráulico que registra mayores variaciones en función del tipo de suelo. (Santayana, V. S. 1994), (16).

Cuadro N° 02: Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos.

TIPO DE SUELO	K (cm/seg)	K (m/dia)
Grava mal graduada (GP)	>1	>864
Grava uniforme (GP)	$2 \times 10^{-1} - 1$	172.8 - 864
Grava bien graduada (GW)	$5 \times 10^{-2} - 3 \times 10^{-1}$	43.2 - 259.2
Arena uniforme (SP)	$5 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-1}$	4.32 - 172.8
Arena bien graduada (SW)	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-1}$	0.864 - 86.4
Arena limosa (SM)	$1 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-3}$	0.864 - 4.32
Arena Arcillosa (SC)	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	0.0864 - 0.864
Limo de baja plasticidad (ML)	$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$	0.0432 - 0.0864
Arcillas de baja plasticidad (CL)	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-8}$	0.00864 - 0.0000864

Fuente: Gonzales, V. L. (2002).

Cuadro N° 03: Valores del coeficiente de permeabilidad.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/seg)	TERMINO
$<10^{-2}$	Muy alto
$10^{-2} - 10^{-4}$	Alto
$10^{-4} - 10^{-5}$	Moderadamente
$10^{-5} - 10^{-7}$	Poco
$10^{-7} - 10^{-9}$	Muy poco
$>10^{-9}$	Impermeable

Fuente: Gonzales, V. L. (2002).

Desde el punto de vista de la ingeniería de drenaje, el diseño, funcionamiento y evaluación de sistemas de drenaje subterráneo, dependen en gran medida de la conductividad hidráulica o conductividad saturada del suelo (K), como una de las características hidrodinámicas más importantes del suelo. (Goicochea, J. 2012), (7).

Existen una serie de técnicas para la determinación puntual de la conductividad hidráulica, los cuales se pueden agrupar principalmente en métodos de laboratorio, campo y correlaciones.

Métodos de laboratorio:

- Permeámetro de carga o altura constante.
- Permeámetro de carga variable.

Métodos de campo:

- Agujero de barrena (auger hole).
- Doble pozo
- Piezómetro

- Prueba de bombeo.

En suelos salinos sujetos a un proceso de lavado es posible esperar variaciones de la  $k$  con el tiempo debido a fenómenos relacionados con la disolución y precipitación de sales

La conductividad hidráulica se expresa en m/día en el siguiente cuadro se presenta la clasificación de la conductividad hidráulica.

Cuadro N° 04: Clasificación de la conductividad hidráulica

CLASE	K (m/día)
Muy baja	< 0.05
Baja	0.05 - 0.3
Media	0.3 – 1
Alta	1- 5
Muy alta	>5

Fuente: Pizarro, C. F. (1978).

Asimismo en el siguiente cuadro se presenta los intervalos de la conductividad hidráulica según la textura y estructura del suelo.

Cuadro N° 05: Intervalos de la conductividad según la textura y estructura del suelo que conforma.

TEXTURA Y ESTRUCTURA	K (m/día)
Arena gruesa con grava	10 – 50
Franco arenoso, arena fina	1 – 5
Franco arcilloso bien estructurado	1 – 3



Franco arenoso muy fino	0.5 – 2
Arcilla con grietas	0.5 – 2
Arena muy fina	0.2 – 0.5
Franco arcillo, arcilloso mal estructurado	0.02 – 0.2
Arcilla compacta	<0.002

Fuente: Martínez, B. J. (1986).

La conductividad hidráulica del suelo es uno de los parámetros más importantes, el cual se acostumbra clasificar en distintos rangos dados en el sistema métrico decimal. (Villon, B. M. 2013), (21).

Cuadro N° 06: Clasificación de la conductividad hidráulica.

Rapidez	K (cm/hora)	K (m/día)
Muy lenta	<0.1	<0.03
Lenta	0.1-0.5	0.03-0.12
Moderadamente lenta	0.5-2.0	0.12-0.50
Moderada	2.0-6.0	0.50-1.50
Moderadamente rápida	6.0-12.0	1.50-3.00
Rápida	12.0-18	3.00-4.50
Muy rápida	>18	>4.50

Fuente: Villon, B. M. (2013).

Cuadro N° 07: Intervalos de magnitud de la conductividad hidráulica.

TEXTURA Y ESTRUCTURA	K (m/día)
Arena gruesa con grava	10-50
Franco arenoso, arena fina	1-5
Franco, franco arcilloso bien estructurado	1-3
Franco arenoso muy fino	0.5-2
Arcilla con grietas	0.5-2
Arena muy fina	0.2-0.5
Franco arcilloso, arcilloso mal estructurado	0.02-0.2
Arcilla compacta	<0.002

Fuente: Villon, B. M. (2013).

A la constante K se le conoce como la conductividad Hidráulica, esta es usada como parámetro para evaluar la resistencia que ofrece el suelo al flujo del agua. La conductividad hidráulica depende de una gran manera de la estructura del suelo, las propiedades que influyen en la conductividad hidráulica, el tamaño de partículas, la gradación del suelo, el índice de vacíos del suelo, la textura y rugosidad de las partículas. (Sánchez, S. J. 2014), (17).

### **Método de Hooghoudt y Ernest.**

El método es utilizado en forma extensiva en grandes investigaciones del mundo, dado que es un procedimiento confiable que incluye las variables que afectan la conductividad hidráulica.

El método fue introducido por diserens, mejorado por hooghout y ernest posteriormente presentado por van beers. (Villon, B. M. 2013), (21).

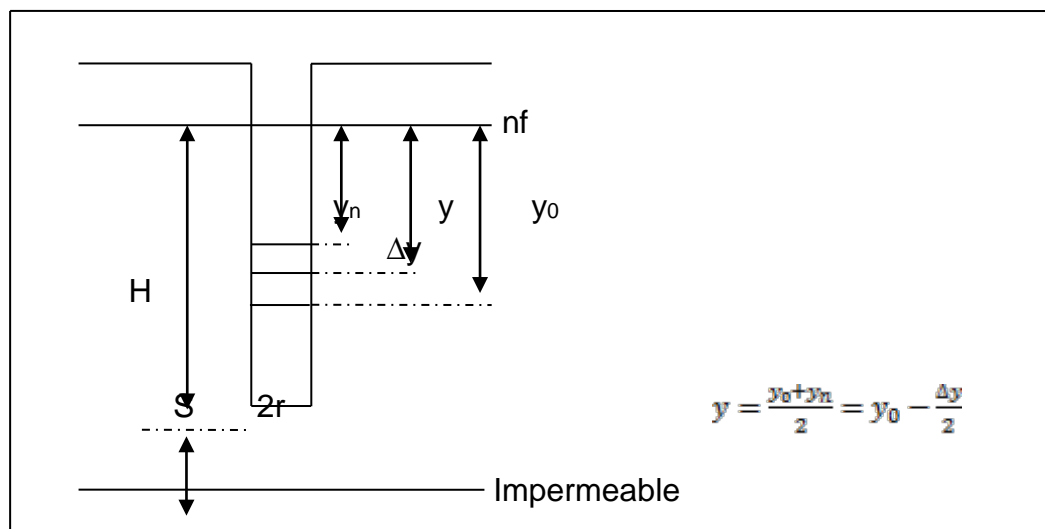


Figura N° 04: Parámetros a usar para el cálculo de K por el método de Ernest.

Fuente: Villon B. M. (2013).

Donde:

$y_0$  = depresión inicial

$y_n$  = depresión final

$\Delta y = y_0 - y_n$

H = profundidad del nivel de pozo

r = radio del pozo

S = distancia vertical entre el fondo del pozo y la capa impermeable

### Procedimiento de cálculo

- ✓ Perforar un pozo cilíndrico en el suelo hasta una profundidad por debajo del nivel freático
- ✓ Habiéndose llegado a la profundidad deseada, esperar que el agua freática alcance su nivel original
- ✓ Una vez llegado al nivel original extraer el agua del pozo de manera que el agua freática vuelva a fluir a través de las paredes y del fondo mismo

- ✓ Medir la velocidad de recuperación del nivel de agua, a intervalos fijos de tiempos ( $\Delta t$ )  $t=5, 10, 15, 20, 30$  seg. Etc. o a intervalos fijos de elevación del nivel del agua ( $\Delta y$ )
- ✓ Calcular con las fórmulas adecuadas la conductividad hidráulica  $K$ .

### **Método de Gilg-Gavard con nivel variable.**

Se introduce un volumen de agua en el instante inicial, y posteriormente se mide la evolución de la recuperación, en este caso se utiliza la expresión. (Sánchez, S. F. 2014), (17).

$$K = \frac{1.308 d^2}{A h_m} * \left( \frac{\Delta h}{\Delta t} \right)$$

Donde:

$K$ =permeabilidad (cm/seg)

$\Delta h$ =bajada del nivel en un intervalo de tiempo (m)

$\Delta t$ =intervalo de tiempo (minutos)

$d$ =diámetro del pozo (m)

$A$ =factor de forma (m)

$h_m$ =altura de agua por encima del nivel inicial (m).

### **Método de Hvorslev.**

Se genera un ascenso inicial  $h_0$  y se miden los niveles en función del tiempo. Para ser utilizado en piezómetros que no necesariamente atraviesan el acuífero en su totalidad. La permeabilidad del terreno viene dada por la siguiente expresión: (Sánchez, S. F. 2014), (17).

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

Donde:

K=conductividad hidráulica

r=radio del pozo

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

t<sub>37</sub>=tiempo en el que aún perdura el 37% del ascenso instantáneo inicial

Las unidades pueden ser cualesquiera, a condición de L, r, estén expresadas homogéneamente. Si por ejemplo, esas tres variables están en cm y t<sub>37</sub> en segundos, la conductividad hidráulica se obtendrá en cm/seg.

### 2.2.2. Transmisividad

Hasta este momento hemos considerado la permeabilidad intrínseca de algunos materiales así como su conductividad hidráulica para la transmisión de agua. Un concepto muy útil en la práctica habitual es la transmisividad o transmisibilidad de un sistema acuífero, la que mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario). La transmisividad es el producto de la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero:(Custodio, E. M. 2003), (3).

$$T = b * K$$

Donde:

T : es la transmisividad (L<sup>2</sup>/T),

B : es el espesor saturado del acuífero (L)

K: es la conductividad hidráulica (L/T).

Para un acuífero compuesto de muchos estratos la transmisividad total es la suma de las transmisividades de cada estrato

$$T = \sum_{i=1}^n T_i$$

Donde:

N : es el número total de estratos

Ti : es la transmisividad del estrato i.

La transmisividad o transmisibilidad es el producto de la conductividad hidráulica por el espesor del acuífero, considerando el flujo básicamente horizontal. La transmisividad y la conductividad hidráulica son los dos parámetros que definen la capacidad de transmitir agua en los acuíferos.

$$T = KD$$

Donde:

T = transmisividad (m<sup>2</sup>/día o cm<sup>2</sup>/hora).

K = conductividad hidráulica (m/día o cm/hora).

D = espesor del acuífero (m o cm).

La transmisibilidad o transmisividad hidráulica de un acuífero es la tasa de flujo bajo un determinado gradiente hidráulico a través de una unidad de anchura de acuífero de espesor dado, y saturado. Es el producto del espesor saturado de dicho acuífero y la conductividad hidráulica (K). Se mide en una unidad de superficie dividida en una unidad de tiempo. Tiene dimensiones:

$$T_i = K_i d_i$$

En otras palabras, transmisividad (T), es el volumen de agua que atraviesa una banda de acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga de un metro. Es representativa de la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua. (Gonzales, T. C. 2011), (6).

### 2.2.3. Porosidad (n)

La porosidad es una medida del espacio intersticial de un acuífero y se define como la razón entre el volumen ocupado por los intersticios y el volumen total del acuífero. La porosidad es adimensional y se expresa en porcentajes. (Santayana, V. S. 1994), (16).

Cuadro N° 08: Rangos de porosidad.

ROCAS	POROSIDAD %	MATERIAL NO CONSOLIDAD	POROSIDAD %
Arenisca	5-30	Grava	25-40
Caliza	0-20	Arena	25-50
Caliza Karstica	5-50	Limo	35-50
Basáltica fracturada	5-50	Arcilla	40-50
Cristalina	0-50		
fracturadas	0-10		

Fuente: Santayana, v. s. (1994).

La porosidad de un terreno se define como la relación del volumen de huecos (vacíos) al volumen total del terreno que los contiene. La porosidad depende de un gran número de factores tales como la naturaleza físico

química del terreno, granulometría de sus componentes, grado de cimentación, o compactación de los mismos efectos de disolución de meteorización fisuración etc. La porosidad matemáticamente se representa con la siguiente ecuación:( Villon, B. M. 2013), (21).

$$n = 100 \left( \frac{w}{v} \right)$$

Donde:

n = porosidad en %

w = volumen de agua requerida para llevar a saturar todos los huecos

v = volumen total de la roca o suelo.

En la siguiente tabla se muestra los intervalos de porosidad representativa para materiales sedimentarios.

Cuadro N° 09: Intervalos de porosidad representativa para materiales sedimentarios.

MATERIAL	POROSIDAD %
Suelos	50 – 60
Arcilla	45 – 55
Limo	40 – 50
Arena uniforme	30 – 40
Grava	30 – 40
Grava y arena	20 – 35
Arenisca	10 – 20



Pizarra	1 – 10
caliza	1 – 10

Fuente: Villon, B. M. (2013).

Los suelos constituyen un medio particulado y poroso, el cual se puede definir como un material constituido por una parte sólida o matriz y unos espacios o poros, los cuales pueden ser ocupados por una o varias fases de fluido ya sean líquidas o gaseosas. El líquido que se presenta comúnmente en los poros es el agua, sin embargo existen también múltiples fases líquidas no acuosas como los compuestos orgánicos en aquellos medios contaminados por hidrocarburos. De igual manera el gas más común presente en los poros es el aire, aunque por procesos de contaminación pueden existir otros tipos de gases. (Donado, 2004), (4).

El espacio poroso drenable es el volumen de agua que pierde un acuífero no confinado (freático) desde un volumen de suelo que tiene una unidad de área por una unidad de disminución (abatimiento) del nivel freático.

También puede definirse como la relación entre el cambio en el contenido de humedad en el perfil de suelo por encima del nivel freático, a la correspondiente elevación o caída del nivel freático, en ausencia de evaporación.

En atención a que en un acuífero freático la compresibilidad es despreciable, este concepto es equivalente al de rendimiento específico, espacio poroso drenable o porosidad efectiva. Es una cantidad adimensional normalmente expresada como porcentaje y sus valores fluctúan entre menos de un 5 por ciento en suelos arcillosos hasta más de 35 por ciento en suelos arenosos gruesos los valores de porosidad efectiva se ven en el siguiente cuadro. (Salgado S. L. 2001), (18).

Cuadro N° 10: valores de la porosidad drenable en relación con la textura y estructura del suelo (FAO 1980).

<b>Textura</b>	<b>Estructura</b>	<b>Poros drenable (%)</b>
Arcillosa Franco-arcillosa densa	Columnar, aglomerada muy fina	1-2
Arcillosa Franco-arcillosa Arcillo-limosa Franco arcillo-arenosa	Prismática muy fina o fina en bloque angulares o laminar	1-3
Arcillosa Arcillo-limosa Franco-arcillo-limosa Franco-arcillosa Franco-limosa Limosa Franco-arcillo-arenosa	Prismática fina y mediana en bloques angulares y laminar	3-8
Franco-arcillosa poco densa Limosa Franco-limosa Franco-arenosa	Prismática mediana y en bloques subangulares	6-12

muy fina Franca		
Franco-arenosa fina Franco-arenosa	En bloques subangulares gruesos y granular, migajón fina	12-18
Arenosa-franca Arenosa-fina	Migajón mediana de grano suelto	15-22
Arenosa-media	De grano suelto	22-26
Arenosa- gruesa Grava	De grano suelto	26-35

Fuente: Salgado S. L. (2001).

Existen diversos métodos para determinar la porosidad drenable. Su valor puede obtenerse por una simple correlación con la conductividad hidráulica mediante la expresión desarrollada por Van Beers. (Salgado S. L. 2001), (18).

$$S = \sqrt{K}$$

Donde:

S = porosidad drenable (%)

K= conductividad hidráulica (cm/día).

#### 2.2.4. Balance hidrológico

##### Definición

El balance hidrológico superficial (BHS) tiene como principio la conservación de la masa y de la ecuación de la continuidad, esta dice que cualquier sistema considerado y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre sus entradas y salidas será igual al cambio de volumen de agua en el almacenado. (Vásquez, V. A. 2000), (19).

El balance hídrico mensual de un proyecto resulta de gran interés práctico como por ejemplo para elaborar el calendario agrícola, previsión de pequeños embalses, etc. su cálculo se puede realizar a partir de los valores de la evapotranspiración corregida, haciendo intervenir además la precipitación media mensual. (Villon, B. M. 2013). (21).

##### Oferta de agua del proyecto

La oferta de agua de una cuenca se determina mediante estudios hidrológicos. En caso de los ríos intermitentes se considera un caudal cero y solo podrá aprovecharse para riego durante las épocas de lluvias

El resultado final del estudio debe dar a conocer los caudales seguros de un determinado río que son aprovechados a lo largo del año se considera caudal seguro el que tiene una probabilidad de ocurrencia mínima del 75%. (Vasquez, A. L. 2000), (18).

Manifiesta que para realizar el cálculo de la demanda de agua de un proyecto se sigue los siguientes pasos: (Villon, B. M. 2013), (21).

- a. Realizar la recopilación de los datos como son:
  - ✓ Área del proyecto.
  - ✓ Temperaturas medias mensuales de 30 años de registro.
  - ✓ Precipitación media mensual en °C de 30 años de registro.

- ✓ Cedula del cultivo.
- ✓ Profundidad radicular promedio.
- ✓ En promedio lámina de agua que humedece una lámina de suelo.
- ✓ Método apropiado a aplicar.

### **2.2.5. Calidad de agua subterránea con fines de riego**

Los estudios de desarrollo y manejo de cuencas es importante el análisis de la calidad de agua, para conocer el grado de contaminación de este recurso y tomar las medidas del caso para su uso ya sea por parte de la población o en la agricultura o ganadería etc. (Vásquez, V. A. 2000), (19).

La calidad de agua de riego está determinada por la composición y concentración de los diferentes elementos que puede tener, ya sea en solución o en suspensión. La calidad de agua de riego determina el tipo manejo que se le debe dar al suelo

Las características que determinan la calidad de agua de riego son:

- ✓ La concentración total de sales solubles
- ✓ La concentración relativa de sodio
- ✓ La concentración de boro u otros elementos tóxicos
- ✓ La concentración total de sólidos en suspensión
- ✓ La presencia de semillas de malezas, larvas o huevos de insectos
- ✓ La dureza del agua, determinada por la concentración de bicarbonatos

La conveniencia del uso de agua de pozos con fines de riego depende de la concentración y clase de sales disueltas en el agua en relación con su efecto sobre el suelo y los cultivos. Es obvio que la conveniencia de un agua para riego no es solo determinada por los constituyentes del agua misma, sino que tiene que ser juzgada en combinación con el suelo y los cultivos sobre los cuales será usada

Los principales cationes que se encuentran normalmente en aguas naturales son el sodio, calcio y magnesio, con pequeñas cantidades de potasio. Los aniones principales son cloruros y sulfatos; bicarbonatos con pequeñas cantidades de carbonatos, nitratos, y fluoruros. (Goicochea R. J. 2012), (7).

- ✓ Contenido de sales solubles.
- ✓ Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo
- ✓ Contenido de elementos tóxicos
- ✓ Otro criterio: para riego por aspersión o goteo, el contenido de sólidos en suspensión y agentes corrosivos.

Cuadro N° 11: criterios e índices para clasificar Agua de Riego.

CRITERIOS	INDICES
CONTENIDO DE SALES SOLUBLES	CE: Conductividad Electrica
	SE: Salinidad Efectiva
	SP: Salinidad Potencial
EFECTO PROBABLE DEL SODIO SOBRE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO	RAS: Relacion de Adsorcion de Sodio
	CSR: Carbonato de Sodio Residual
	PSP: Porcentaje de Sodio posible
CONTENIDO DE ELEMENTOS TOXICOS	B: Contenido de Boro
	CL: Contenido de Cloruros

Fuente: FAO.

a) Contenido de Sales Solubles.

Conductividad eléctrica (CE): la concentración total de sales disueltas es usualmente expresada en términos de conductividad eléctrica CE  $\mu\text{mhoms/cm}$  a 25°C (CE X  $10^8$   $(CE \times 10^8)$ ).

Cuadro N°12: Clasificación de las Aguas de Riego por su Conductividad Hidráulica.

CLASIFICACION	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA A 25°C (UMHOS/CM).	CONCENTRACIONES DE SALES
C1: Agua de baja salinidad	0 - 250	< 0.02
C2: Agua de salinidad mediana	250 - 720	0.5 - 0.5
C3: Agua altamente salina	720 - 2250	0.5 - 1.5
C4: Agua muy altamente salina	2250 - 5000	1.5 - 3.0

Fuente: FAO.

SALINIDAD EFECTIVA (SE).

Cuadro N° 13: Clasificación de agua de riego por su Salinidad Efectiva.

CLASE	SALINIDAD EFECTIVA (SE) mg/lit.
BUENA	< de 3
CONDICIONADA	3 a 15
NO RECOMENDABLE	> de 15

Fuente: FAO.

Cuadro N° 14: Clasificación de Agua de Riego por su carbonato de sodio residual.

CLASE	CSR mq/litro
BUENA	< de 1.25
CONDICIONADA	1.25 a 2.50
NO RECOMENDABLE	> de 2.50

Fuente: FAO.

Porcentaje de sodio posible (PSP).

Cuadro N° 15: Clasificación de las Aguas de Riego por su porcentaje de sodio posible.

CLASE	PSP mq/litro
BUENA	< de 50
CONDICIONADA	> de 50

Fuente: FAO.

Contenido de elementos tóxicos para las plantas.

Contenido de boro (B).

Cuadro N° 16: Clasificación de las Aguas de Riego por su contenido de Boro.

CLASE POR BORO	CULTIVOS SENSIBLES (ppm).	CULTIVOS SEMI - TOLERANTES (ppm).	CULTIVOS TOLERANTES (ppm).
1	< 0.33	< 0.67	< 1.00
2	0.33 - 0.67	0.67 - 1.33	1.00 - 2.00
3	0.67 - 1.00	1.33 - 2.00	2.00 - 3.00
4	1.00 - 1.25	2.00 - 2.50	3.00 - 3.75
5	> 1.25	> 2.50	> 3.75

Fuente: FAO.

Contenido de cloruros (CL).

Cuadro N° 17: Clasificación de las Aguas de Riego por su contenido de Cloruros.

CLASE	CL mg/litro
BUENA	< de 1.00
CONDICIONADA	1.00 - 5.00
NO RECOMENDABLE	> de 5.00

Fuente: FAO.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

#### 3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El presente trabajo ha sido realizado en el departamento de Puno, en la provincia de Puno, distrito de Acora, en el Comunidad de Quenapajja, en un área 15.00 hectáreas.

##### 3.1.1. Ubicación política

REGIÓN : Puno  
DEPARTAMENTO : Puno  
PROVINCIA : Puno  
DISTRITO : Acora  
LOCALIDAD : Quenapajja.

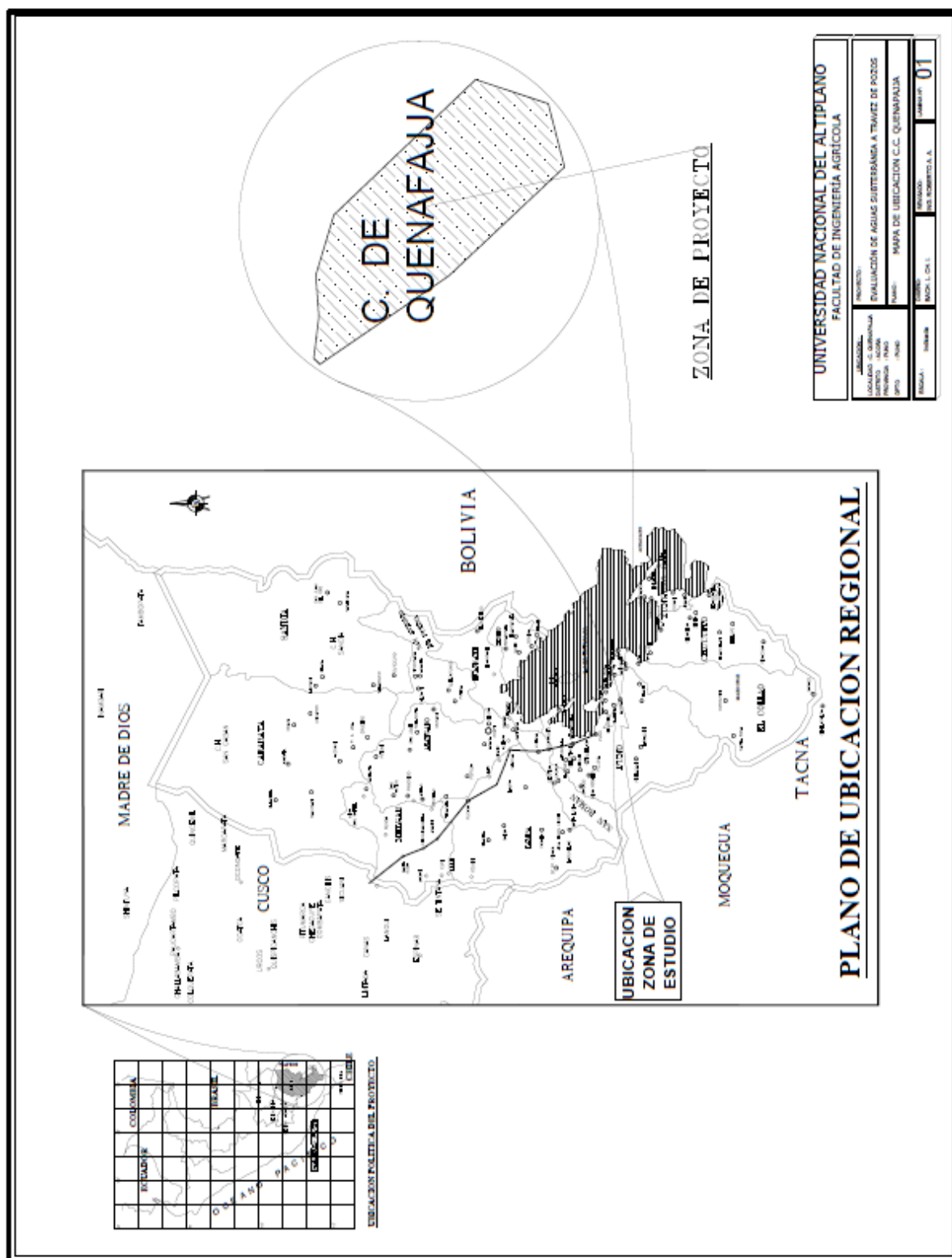
##### 3.1.2. Ubicación geográfica

Norte : 8216671.  
Este : 425060.  
Altitud media : 3850.00 m.s.n.m.

#### 3.2. ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

##### 3.2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio cubierto por el cultivo de la alfalfa de 15.00 has, durante el año esta zona del departamento sufre la escases de aguas superficiales por lo que recurren al uso de las aguas subterráneas perforando pozos a tajo abierto y extrayendo el recurso hídrico subterráneo.



### 3.2.2. VÍAS DE COMUNICACIÓN Y ACCESO

Cuadro N° 18: vías de acceso al centro poblado de culta.

Nº	TRAMO	DISTANCIA (KM)	TIPO DE VÍA	VÍA PRINCIPAL
01	PUNO-ILAVE	57	ASFALTADA	PUNO DESAGUADERO
02	PUNO- ACORA	37	ASFALTADA	PUNO DESAGUADERO
03	ILAVE - QUENAPAJJA	7.5	TROCHA	ILAVE QUENAPAJJA.

FUENTE: Elaboración Propia.

### 3.2.3. CLIMA

El clima de zona es característico del altiplano Peruano, varía de acuerdo a temporada siendo característicos en la zona los siguientes temporales, una época de lluvias en los meses de diciembre a abril, otra época de heladas seca y fría durante los meses de mayo a agosto, y una última época de veranillo en los meses de septiembre a diciembre, las temperaturas máximas y mínimas son de 18 °C y -5°C respectivamente y precipitaciones pluviales de 568 mm.

### 3.2.4. TOPOGRAFÍA

La zona presenta una topografía moderada en la parte alta desde los 4000.00 m.s.n.m. a los 3840.00 m.s.n.m. en las partes altas donde se encuentran los principales cerros de la comunidad.

Y En la parte baja presenta una topografía con pendientes mínimas de 2% a 5% desde una altitud de 3840.00 m.s.n.m. hasta los 3856.00 m.s.n.m. en esta zona existe. Presencia de suelos altamente erosivos, además áreas

inundables en épocas de lluvias, estas áreas están cubiertos por pastizales y sembríos de alfalfa.

### 3.2.5. GEOLOGÍA DE LA ZONA

La zona presenta una formación geológica correspondiente a la era cuaternaria en la parte baja conformado por material de origen aluvial como limos, arena de grano medio y arcillas, las partes altas corresponden a la era cretácica conformado por caliza gris masiva.

### 3.2.6. RECURSOS NATURALES.

**Suelos;** los suelos del área de estudio presentan diferentes clases texturales tales como: franco arcilloso, franco limoso, arenas gruesas, arenas finas, ricos en materia orgánica, en estas tierras se desarrolla la agricultura en secano y otro porcentaje se utiliza como alfalfa.

**Ecología;** según el estudio de reconocimiento realizado por la oficina nacional de recursos naturales (Inrena), pertenece al bosque húmedo típico de la zona como queñua acompañadas con poca vegetación pajonales de chilligua y pastos altamente resistentes a condiciones climáticas desfavorables, esta zona se caracteriza por tener una diversidad de microclimas que se presentan durante el año esto favorece el desarrollo de la agricultura produciéndose en estas tierras cultivos tales como; alfalfa, papa , quinua, cañihua, cereales, habas trigo entre otros.

**Fauna;** en estas pampas se desarrolla la ganadería que es una de las actividades económicas principales del poblador de esta zona del departamento de Puno, se desarrolla la crianza de vacunos de carne y de lechero además de ganado ovino de carne y en menor cantidad crianza de animales menores como cuyes aves de corral y algunos auquénidos.

**Recurso hídrico;** estas comunidades no cuentan con suficientes cantidades de agua de escorrentía superficial sobre todo en los meses de agosto a diciembre en donde las precipitaciones son mínimas y en estos meses los pobladores recurren al uso de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades y para abastecer algunos riegos.

### 3.2.7. ASPECTO ECONÓMICO SOCIA.

Las principales actividades económicas de la comunidad, son la agricultura y la ganadería, los mismos que constituyen la única fuente de ingreso propio de la zona, la producción agrícola en su mayoría solo cubre el autoconsumo y en muy mínima cantidad salen al mercado, la ganadería es la actividad que les permite tener algunos ingresos propios, es por esta razón la migración a las principales ciudades del Perú se hace sentir con mayor proporción.

**Población;** se estima una población de 62 casas en toda la comunidad, se estima promedio de 05 personas por casa 310 habitantes en toda la comunidad, la migración poblacional a consecuencia de la falta de empleo se hace sentir en esta zona del departamento de Puno, por motivos de trabajo temporal existente el flujo migratorio se da a las ciudades de Puno, Juliaca, Arequipa Tacna entre otros departamentos del Perú.

**Población económicamente activa;** se estima que la población económicamente activa es de 75% aproximadamente esta población se dedica a la producción agrícola y al ganadería además de desarrollar trabajos temporales en la construcción civil en los pueblos vecinos como Acora, Ilave, Puno entre otros.

### 3.2.8. SERVICIOS BÁSICOS

**Vivienda;** las viviendas de los habitantes de las comunidades se encuentran dispersas sin ningún plan de desarrollo de ordenamiento territorial rural, las viviendas son de material rustico con paredes de adobe y techo de calamina y en algunos casos techo de paja.

**Salud,** no se cuenta con puestos de salud en las comunidades de Quenapajja, en casos de presentarse una emergencia se recurre a la posta de salud de Amparani o a los hospitales de Puno e llave, la población de Quenapajja en las épocas de friaje se presentan enfermedades respiratorias.

**Educación;** en este aspecto se cuenta con un centro educativo primario EEP 70106 el cual cubre el nivel básico de educación en la zona, un porcentaje de la población estudiantil migra a estudiar en los distritos cercanos tales como llave, Acora y Puno.

## 3.3. MATERIALES

### 3.3.1. MATERIAL EXPERIMENTAL

En el comunidad de Quenapajja, se localizaron 16 pozos a tajo abierto los cuales fueron excavados y construidos con el fin principal de abastecer de agua para consumo humano de los pobladores y con otros fines menores, en el año 2006 la Municipalidad distrital de Acora realiza los estudios e instalación del proyecto en la comunidad de quenapajja, actual mete se viene proyectando para la construcción de agua potable para la comunidad de quenapajja, con lo cual los pozos antes mencionados quedarán en su mayoría en desuso.

### 3.3.2. MATERIAL RECOPIADO

Se recopiló la siguiente información cartográfica y topográfica.

- ✓ Carta nacional del instituto geográfico nacional a escalas 1:100000 y
- ✓ 1:25000.
- ✓ Plano a curvas de nivel el cual fue utilizado para la ejecución de la obra.
- ✓ Mapas o planos de la ubicación de los pozos.
- ✓ Ubicación por coordenadas UTM con la ayuda de un GPS.

### 3.3.3. MATERIALES DE CAMPO

- ✓ GPS.
- ✓ Una electrobomba para extraer agua.
- ✓ Winchas de aceros de 5 m y 50 m.
- ✓ Herramientas manuales (pico, pala, entre otros).
- ✓ Linterna.
- ✓ Formatos preparados para tomar datos.
- ✓ Calculadora.
- ✓ Cámara fotográfica.
- ✓ Botellas (para muestra de agua) y una motocicleta.

### 3.3.4. MATERIAL DE GABINETE.

- ✓ Una laptop Intel CORE i5, una impresora HP laser Jet P1102w.
- ✓ Software (AUTOCAD 2014, CIVIL 3D, WORD, EXCEL, POWER POINT).
- ✓ Materiales de Escritorio.

## 3.4. METODOLOGÍA.

La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación comprende cuatro etapas principales consiste planteamiento y análisis de investigación,

la segunda recopilación de información, tercero etapa de trabajo de campo, cuarto trabajo de gabinete y elaboración del informe final.

### **3.4.1. PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN.**

En el comunidad de Quenapajja, existen 16 pozos a tajo abierto los cuales fueron excavados y construidos con el fin principal de abastecer de agua para consumo humano de los pobladores y con otros fines menores, en el año 2006 la Municipalidad distrital de Acora realiza los estudios e instalación del proyecto en la comunidad de quenapajja, actual mete se viene proyectando para la construcción de agua potable para la comunidad de quenafajja, con lo cual los pozos antes mencionados quedarán en su mayoría en desuso.

Con la actual política del estado Peruano y de los municipios locales (municipalidad distrital de Acora) de promover e impulsar la actividad agropecuaria con fines de explotación del ganado vacuno para carne y leche, en los últimos cuatro años se han instalado en la zona extensiones considerables de alfalfa con el fin de abastecer de alimentación al ganado vacuno.

En la comunidad de Quenapajja dichos extensiones de alfalfa carece de un sistema de riego, abasteciéndose como única fuente de agua las precipitaciones pluviales que se presentan en los meses de enero a marzo, por lo que surge la necesidad de abastecer de agua en los meses de abril a diciembre donde se presenta mínimas cantidades de precipitaciones pluviales

Es así que se plantea abastecer de agua subterránea con fines de riego de la alfalfa recurriendo a los acuíferos existentes en la zona, el presente trabajo tiene la el objetivo de estimar o calcular si el agua subterránea existente podría abastecer el riego de los alfalfaes existentes en los meses donde se presentan escases de precipitaciones pluviales.



### 3.4.2. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.

#### 3.4.2.1. Métodos de campo.

Uno de los parámetros básicos que es imprescindible determinar en el estudio de las aguas subterráneas es la conductividad hidráulica como una de las características hidrodinámicas más importantes de la zona saturada de un acuífero.

Existe una serie de técnicas para la determinación puntual de la conductividad hidráulica, los cuales se pueden agrupar principalmente en métodos de laboratorio, métodos de campo y métodos de correlaciones.

En el presente trabajo se utilizara el método de Ernest, este método permite determinar la conductividad hidráulica por debajo de la tabla de agua. El método es utilizado ampliamente en forma extensiva en grandes investigaciones del mundo, dado que es un procedimiento confiable que incluye las variables que afectan la conductividad hidráulica. El método fue introducido por Diserens, mejorado por Hooghoudt y Ernest y posteriormente presentado por van Beers en 1958.

Los métodos citados por todos los manuales de hidrogeología son los de nivel variable de para acuíferos libres, acuíferos confinados. En geotecnia e ingeniería geológica en general se utilizan los ensayos Lefranc u Lugeon; menos conocidos es el de Gilg gavard. Describiremos aquí los métodos de Lefranc y Gilg-Gavard ambos se pueden realizar con nivel constante o nivel variable.

Para la elección se deberá considerarse toda la información existente como mapas topográficos, aerofotografías, estudio de suelos con fines de riego, estudio agrologico, etc. de esta manera que los puntos elegidos sean representativos de un área determinada y pueden ser ajustados en el

campo. La época más apropiada para realizar las pruebas, será aquella en la que la tabla de agua este cerca a la superficie del suelo.

La profundidad dependerá de la naturaleza, espesor y secuencia de los horizontes del suelo, cuando el suelo es homogéneo y de gran profundidad, la perforación podrá ser de 60 a 70cm por debajo de la tabla de agua

La recuperación del nivel de agua en el pozo dependerá de acuerdo al tipo de suelo, para suelos ligeros alcanzara un tiempo relativamente corto de 10 a 30 minutos, mientras que para suelos medianos y pesados podrá variar desde 30 minutos a algunas horas.

El nivel de agua en el pozo se deprimirá entre 20 y 40 cm. El factor que condiciona el nivel de depresión es el tipo de suelo, teóricamente es recomendable deprimir 20cm en suelos ligeros, de manera que se tenga una carga hidráulica pequeña en un medio muy permeable y deprimir 40cm en suelos pesados en forma que se tenga una buena carga hidráulica en un medio menos permeable.

Perforar un pozo cilíndrico en el suelo, hasta una determinada profundidad por debajo del nivel de agua freática.

Habiendo llegado a la profundidad deseada esperar que el agua freática alcance su nivel original.

Una vez llegado al nivel original, extraer agua del pozo de manera que el agua freática vuelva a fluir a través de las paredes y del fondo del mismo medir la velocidad de elevación del nivel de agua.

Calcular con las fórmulas adecuadas la conductividad hidráulica  $k$ .

Estos métodos pueden ser aplicados para analizar la recuperación en pozos de gran diámetro. Mace (1999), (8), midió la conductividad hidráulica en ensayos de recuperación practicados en pozos de gran diámetro con procedimientos específicos para estos pozos y con diversos métodos slug

test, concluyendo que los resultados eran similares, y que, por tanto, estos métodos pueden ser utilizados para medir la conductividad hidráulica en ensayos de recuperación en pozos excavados de gran diámetro. Ya indicamos en la introducción que los slug tests de nivel variable pueden realizarse con un ascenso o con un descenso inicial; este sería el caso de un descenso inicial para medir después los niveles durante la recuperación. (17).

El principal inconveniente es que en un pozo de varios metros de diámetro la extracción de agua no puede ser instantánea, como exigen todos los procedimientos slug test. No obstante, en formaciones de baja permeabilidad, aunque la extracción se prolongue varias horas, el agua bombeada procede principalmente de la almacenada en el pozo, y en muy pequeña proporción es agua procedente del acuífero. Esto puede comprobarse aproximadamente si el gráfico descenso –tiempo, es lineal lo que indicaría que el bombeo simplemente está vaciando el agua contenida en el pozo Mace. (8).

#### 3.4.2.2. Métodos de Hooghoudt Ernest.

Ernest en 1950 encontró que la relación entre la conductividad hidráulica del suelo y el flujo de agua en el interior del sondeo depende de las condiciones límites. Esta relación ha sido obtenida por el método de compensación por diferencias.

Este método consiste en realizar un pozo o sondaje hasta cierta profundidad por debajo del nivel freático, cuando el agua del pozo alcanza su nivel de equilibrio se extrae el agua del pozo con la ayuda de una electrobomba. La velocidad de recuperación del agua freática tendiente hacia el punto de equilibrio (velocidad de ascenso del agua en forma vertical hacia arriba), es medida mediante el arreglo de un flotador acoplado

a una cinta métrica, luego de obtener un conjunto de datos de incrementos de altura de agua en función del tiempo, la conductividad hidráulica se calcula a partir de una ecuación predeterminada que relaciona la velocidad de ascenso.

La medida de la velocidad de elevación del nivel de agua, debe comenzar inmediatamente después de la extracción del agua en el nivel  $Y_0$  hasta terminar el ensayo en el nivel  $Y_n$ .

Los intervalos de tiempo de la medida de la velocidad de elevación dependen de la permeabilidad del suelo y es frecuente usar de 5 a 30 segundos, normalmente se toman 5 lecturas para conseguir un buen valor promedio de la velocidad de elevación y para deducir posibles errores de operación.

Observando la distribución de la prueba, la profundidad del pozo en la zona saturada ( $H$ ) resulta de la diferencia de la profundidad total del pozo ( $D$ ) con la profundidad de la napa freática ( $W$ ):

$$H = D - W$$

Después de haber extraído el agua del pozo con la bomba se llega al nivel  $Y_0$  e inmediatamente se inicia el ensayo, valor que es la diferencia de las profundidades medidas desde el nivel de referencia  $Y_0$  y la profundidad del nivel freático  $W'$ .

$$Y_0 = Y'_0 - W'$$

La variación de los niveles desde el inicio hasta el final de la prueba entre los tiempos  $t_0$  y  $t_n$  ( $\Delta t$ ) es:

$$\Delta y = Y'_0 - Y'_n$$

Debe tenerse en cuenta en tomar las medidas antes de que el 25% del agua extraída haya vuelto a fluir dentro del pozo, tratando de que la medida sea completada antes de:

$$\Delta y \leq \frac{1}{4} Y_o$$

Para determinar la conductividad hidráulica del suelo se aplica la siguiente relación:

$$K = C \left( \frac{\Delta y}{\Delta t} \right)$$

Donde:

K=conductividad hidráulica (m/día).

C=coeficiente geométrico que está en función de y, H, r, S.

$\Delta Y$ =intervalo entre la distancia  $Y'o - Y'n$ .

$\Delta t$ =intervalo de tiempo entre  $t_o$  y  $t_n$ .

$Y_o$ =depresión inicial.

$Y_n$ =depresión final.

H=profundidad del nivel del pozo por debajo del nivel freático.

R=radio del pozo.

S=distancia vertical entre el fondo del pozo y la capa impermeable.

El factor geométrico (C) depende de la profundidad que se encuentra la capa impermeable por debajo de la profundidad del pozo (S) es decir cuando  $S=0$  y  $S \geq 0.5H$ . El uso de los nomogramas de Ernest permite encontrar el valor de C para los casos indicados de profundidades de S. el nomograma esta dado en función de  $Y/r$  y de  $H/r$ , obteniéndose directamente de una familia de curvas el valor de C.

El valor de Y es la medida desde el valor medio de  $\Delta y$  hasta el nivel freático, es decir.

$$y = \frac{y_o + y_n}{2} = y_o - \left( \frac{1}{2} \right) \Delta y$$

El factor geométrico depende de la profundidad del estrato impermeable (S) y de la profundidad media del agua dentro del pozo, mediante las siguientes expresiones:

Cuando  $S \geq 0.5H$

$$C = \frac{4000 r^2}{(H + 20r) \left(2 - \frac{Y}{H}\right) Y}$$

Cuando  $S=0$

$$C = \frac{3600 r^2}{(H + 10r) \left(2 - \frac{Y}{H}\right) Y}$$

Donde:

S=profundidad al estrato impermeable (m).

H=distancia desde el nivel freático al fondo del pozo (m).

r=radio del pozo (m).

Y=profundidad media del agua en el pozo bajo el nivel freático (m).

C=factor geométrico.

### 3.4.2.3. Método de Ensayos Lefranc.

Este método es fiable para ciertas condiciones, navfac (1986) no los denomina lefranc pero utiliza las mismas formulas, presentando dos posibles escenarios de trabajo, un sondeo y un piezómetro, en este caso la zona de filtración tiene un diámetro distinto que la entubación del piezómetro.

Se hace subir el nivel hasta una altura  $h_0$  y posteriormente medimos dos niveles,  $h_1$  y  $h_2$ , entre las que ha transcurrido un tiempo  $t$  la permeabilidad se calcula por la siguiente formula:

$$K = \frac{d^2 \ln\left(\frac{2L}{d}\right)}{8Lt} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Donde:

K=conductividad hidráulica (m/seg).

$h_1, h_2$ =altura de agua al principio y al final del ensayo (m).

t=tiempo transcurrido en (seg).

L=longitud de la zona filtrante (m).

d=diámetro del pozo (m).

El ensayo puede realizarse con una extracción instantánea de agua o con una inyección de agua (o un sólido equivalente, slug). Navfac (1986) los denomina respectivamente “rising head test” y “falling head test”, según Navfac las pruebas con extracción con medida de ascensos pueden ser más precisos que las de nivel constante o las de inyección en la zona saturada.

#### 3.4.2.4. Método de Gilg Gavard

Se introduce un volumen de agua en el instante inicial, y posteriormente se mide la evolución de la recuperación, en este caso se utiliza la expresión:

$$K = \frac{1.308 d^2}{A h_m} * \left(\frac{\Delta h}{\Delta t}\right)$$

Donde:

K=permeabilidad (cm/seg).

$\Delta h$ =bajada del nivel en un intervalo de tiempo (m).

$\Delta t$ =intervalo de tiempo (minutos).

d=diámetro del pozo (m).

A=factor de forma (m).

$h_m$ =altura de agua por encima del nivel inicial (m).

#### 3.4.2.5. Determinación de la porosidad efectiva.

La porosidad eficaz se puede calcular, con buena precisión, si se conoce el caudal de flujo de las reservas reguladoras correspondientes a un descenso medio de la superficie piezométrica del manto acuífero considerado. Tenemos en efecto:

$$n_e = \frac{Q}{A \Delta h}$$

Donde:

Q=volumen de agua fluida en las surgencias en (m<sup>3</sup>).

A=superficie media de la superficie piezométrica en (m<sup>2</sup>).

Δh = es el descenso medio de la superficie piezométrica, determinado durante el mismo periodo que la medida del caudal Q en (m).

También es posible calcular por el mismo método la porosidad eficaz utilizando el volumen de la porción de la capa acuífera delimitada por las dos porciones extremas de la superficie piezométrica.

$$n_e = \frac{Q}{V}$$

Donde:

V=volumen de la sección de la capa acuífera delimitada por dos posiciones extremas de la superficie piezométrica en m<sup>3</sup>.

También es posible calcular la porosidad eficaz si se conoce la velocidad real, la permeabilidad y el gradiente hidráulico. Mediante la aplicación de la ley de Darcy.

$$n_e = \frac{KI}{v_e}$$

Donde:



$n_e$  = porosidad eficaz.

$K$  = permeabilidad horizontal en m/s.

$I$  = gradiente hidráulico.

$v_e$  = velocidad real en m/s.

También se puede determinar la porosidad eficaz por medio de la siguiente fórmula:

$$Q = Av$$

$$v = v_e m_e$$

Donde:

$Q$  = caudal de flujo en m<sup>3</sup>/seg.

$A$  = superficie de la sección total de flujo en m<sup>2</sup>.

$V$  = velocidad media ( $v=ki$ ) en m/seg.

Los valores de porosidad son obtenidos a partir de la siguiente relación empírica desarrollada por van beers.

$$m_e = \sqrt{K}$$

Donde:

$m_e$  = porosidad efectiva (%).

$K$  = conductividad hidráulica (cm/día).

### 3.4.3. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA NAPA FREÁTICA.

La morfología de la superficie freática de los acuíferos libres permite estudiar, a escala global o regional las características del movimiento de las aguas subterráneas, las fluctuaciones de la superficie del nivel freático en el tiempo permiten estudiar la variación de las reservas, la alimentación del acuífero, y sobre todo su observación y control son importantes para implementar medidas de conservación y explotación racional de los recursos de aguas subterráneas. El propósito de los estudios del comportamiento del nivel freático es el de suministrar la información necesaria respecto a la posición y fluctuación del nivel freático a lo largo de un periodo de tiempo (10 meses), en varios puntos del área de estudio.

Para estudiar las condiciones del agua subterránea en el área de estudio una forma sencilla de su análisis es presentar la información de las lecturas de los pozos de observación y las variaciones del nivel freático, en forma de grafica mediante planos o mapas que nos permitan su análisis, como son los siguientes:

- ✓ Mapa de isohypsas.
- ✓ Mapa de mínimos niveles freáticos.
- ✓ Mapa de incrementos.
- ✓ Hidrograma de pozos.

#### 3.4.3.1. Inventario De Fuentes De Agua Subterránea.

Se entiende por inventario de los recursos hídricos a la identificación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, el trabajo se divide en tres etapas la primera comprende una etapa de gabinete en la que se recopilara información existente de la zona, la segunda etapa comprende el trabajo de campo en el que se realizara mediciones en el pozo y entrevista con los propietarios, la tercera etapa comprende otro trabajo de gabinete en el que se estará procesando la información recopilada en las dos etapas anteriores. El inventario de recursos hídricos es fundamentalmente un trabajo de campo que requiere ser efectuado en forma consiente y minuciosa de modo que los resultados sean fidedignos de la realidad existente.

Proceso de inventario.

En el presente trabajo se sigue tres etapas de trabajo para realizar el inventario de fuentes de agua subterránea, la primera etapa de gabinete recopilación de información, la segunda trabajo de campo, y la tercera etapa de procesamiento de datos.

- a. Etapa de gabinete 1. En esta etapa se realizaron actividades preliminares útiles para el inventario tales como la recolección de información cartográfica cartas nacionales de la zona en una escala de 1:100000, 1:25000, planos existentes de trabajos anteriores. Además de realizar un planeamiento del trabajo de campo, coordinaciones con los propietarios de los pozos, además de evaluar las vías de acceso a cada uno de los pozos.
- b. Etapa de campo. En esta etapa comprende las siguientes actividades, mediciones y tomar los siguientes datos:
  - La ubicación de las fuentes de agua subterránea (pozos) en coordenadas UTM georeferenciadas con GPS (sistema de posicionamiento geográfico).
  - Medir el diámetro medio y radio medio de los pozos.
  - Ubicación de la cota terreno.
  - Profundidad máxima (cota fondo).
  - Profundidad del nivel freático (cota del nivel freático).
  - Año de construcción.
  - Tipo de pozo (C<sup>o</sup> A, C<sup>o</sup> ciclópeo, artesanal).
  - Tipo de perforación (tajo abierto).
  - Condiciones de higiene.
  - Entrevista con el propietario de cada pozo.
  - Uso actual.
  - Otros.
- c. Etapa de gabinete 2. En esta etapa se procesara toda la información recopilada en la etapa preliminar y la etapa de campo a fin de obtener los cuadros de inventario de recursos hídricos, planos y croquis o esquemas de ubicación de los pozos, llegar a las conclusiones necesarias.

### 3.4.3.2. Lecturas del nivel freático.

En los acuíferos libres el nivel freático no permanece estático, varían en función del tiempo y el espacio es por esta razón que surge la necesidad de monitorear en un periodo de tiempo determinado el comportamiento de la napa freática.

Para obtener la información de la posición y fluctuación de los niveles freáticos a lo largo de un periodo de tiempo (10 meses) se toma un punto de referencia en el terreno y se ubica una marca fija en el terreno (boca del pozo), desde donde ese punto se lecturara mensualmente la variación del nivel freático durante 10 meses.

Existen varios métodos para medir la profundidad de la napa freática, desde los los sofisticados sondaje hasta los más rudimentarios medida con palos, la elección del método de medida se adapta de acuerdo a las circunstancias y características del pozo, en el presente trabajo se utilizó el método de la cinta mojada que consiste en preparar una cuerda (cordel) en el que se acopla un peso en el extremo inferior para mantenerla en forma vertical y utilizando un flexometro se mide la profundidad a la cual se encuentra el nivel freático, este método se eligió porque se adapta a las condiciones de trabajo por lo que se tiene la seguridad de leer sin errores.

### 3.4.3.3. Construcción de planos isohypsas.

Denominados también los planos isohypsas representan líneas de igual elevación de la tabla de agua subterránea, con respecto al nivel medio del mar.

Para la elaboración de estos planos se toma en cuenta la cota del nivel freático, luego con estos datos se trazan las curvas de igual nivel a equidistancias que pueden variar de 0.50m a 1.00m entre línea y línea en el

presente trabajo para elaborar estos planos se recurrió a la ayuda de programas tales como autocad.

La construcción de estos planos nos permitirá determinar y calcular:

- Las líneas equipotenciales.
- La dirección de las líneas de corriente las que se trazan ortogonales o perpendiculares a las isohypsas.
- Posibles zonas de recarga y drenaje.
- Las zonas con diferentes valores de gradiente hidráulico valor relativo de la conductividad hidráulica de cada área.

#### 3.4.3.4. Construcción de planos de mínimos niveles freáticos.

Este plano es similar al de isohypsas pero obtenido con los las profundidades mínimas o cotas más bajas del nivel freático que fueron observadas durante 10 meses para su elaboración se tomó en cuenta lo siguiente:

Del registro de obtenemos las cotas más bajas del nivel freático que fueron observadas durante los 10 meses.

En cada punto de observación anotar el valor del nivel freático referido al nivel del mar coordenadas.

Con estos datos ingresamos al autocad y e interpolamos y dibujamos las curvas de igual nivel a equidistancias de 0.50m a 1.00m de distancia

Aunque este plano no muestre las condiciones de flujo de un momento dado, ya que el conjunto de lecturas mínimas que han sido seleccionadas no corresponden a una sola observación, si representan los niveles de los mantos freáticos de cada lugar, cuando estos reciben menores aportaciones, y es posiblemente la única representación hipotética del estado que tendrá el manto freático.

Además estas curvas el momento que más se aproxima a la condición de un régimen permanente y establecido sin efectos de alimentaciones temporales

Las líneas de corriente resultantes de las equipotenciales del plano de mínimos niveles marcan la dirección y recorrido más probables de los flujos de aguas freáticas futuras.

#### 3.4.3.5. Construcción de planos de incrementos.

Los planos de incrementos, se obtiene superponiendo a los isohypsas de mínimos niveles, las isohypsas de cualquier mes, simulándose de esa forma el movimiento de volúmenes de agua en un periodos estudiados.

Para elaborar se sigue los siguientes pasos:

Se superpone el plano de isohypsas con el de mínimos niveles freáticos y resaltar los incrementos de cada mes.

Unir con líneas gruesas las isohypsas de un mes determinado y con líneas punteadas las líneas de mínimos niveles, quedaran representados en magnitud los incrementos correspondientes, pudiendo localizar en forma clara los promontorios de agua, así como la forma en que se difunden.

Con la ayuda de los planos mensuales se pueden definir las causas que originan los promontorios ya que es probable que aquellos que se desvanecen en unos y vuelven a aparecer en otros, tiene su origen en sobre riegos o en filtraciones de canales que no se operan permanentemente. En cambio los que se desplazan con recorridos de forma más o menos constante por varios meses consecutivos procederán de filtraciones de una fuente que se opera en forma constante.

#### 3.4.3.6. Construcción de hidrogramas de pozos.

Se obtiene ploteando la lectura del nivel de agua observado de un pozo en función del tiempo. Al haberse establecido una red de observación, las

mediciones del nivel de agua deberán hacerse por un periodo de algunos meses secos y húmedos.

El Hidrograma de pozo permite observar la variación del nivel freático en función del tiempo.

La comparación de hidrogramas de varios puntos permitirá distinguir diferentes grupos de pozos y piezómetros, cada uno de los pozos pertenecientes a un determinado grupo tendrá una respuesta similar a las formas de recarga o descarga del área.

Para una respuesta similar el nivel medio del agua en los pozos de observación comenzara a aumentar al mismo tiempo, alcanzando estos su máximo valor al mismo momento, comenzando después la recesión para alcanzar el mínimo valor a tiempos iguales.

La amplitud de las fluctuaciones del nivel de agua en los pozos no necesariamente deberá ser la misma pero deberá mostrar una gran similitud.

#### **3.4.4. DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO.**

El balance hídrico mensual de un proyecto, resulta de gran interés práctico como por ejemplo para elaborar el calendario agrícola, previsión de pequeños embalses. Etc. su cálculo se puede realizar a partir de valores de la evapotranspiración haciendo intervenir además la precipitación media mensual.

En el presente trabajo determinar el balance hídrico significa establecer el déficit y/o superávit entre la disponibilidad de agua subterránea y la demanda de agua para el cultivo de la alfalfa.

#### **3.4.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA CON FINES DE RIEGO.**

La conveniencia del uso de agua de pozos con fines de riego depende de la concentración y clase de sales disueltas en el agua en relación con su efecto sobre el suelo y los cultivos. Es obvio que la conveniencia de agua para riego no es solo determinada por los constituyentes del agua misma, sino que tiene que ser juzgada en combinación con el suelo y los cultivos sobre los cuales será usada.

Los principales cationes que se encuentran normalmente en aguas naturales son el sodio, calcio y magnesio, con pequeñas cantidades de potasio. Los aniones principales son cloruros y sulfatos; bicarbonatos con pequeñas cantidades de carbonatos, nitratos, y fluoruros.

En el presente trabajo para evaluar la calidad de agua subterránea de los pozos se utilizó los siguientes criterios.

- ✓ Contenido de sales solubles.
- ✓ Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo.
- ✓ Contenido de elementos tóxicos.



- ✓ Otro criterio: solo para riego por aspersión o goteo, el contenido de sólidos en suspensión y agentes corrosivos.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

##### 4.1. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y POROSIDAD EFECTIVA.

###### 4.1.1. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.

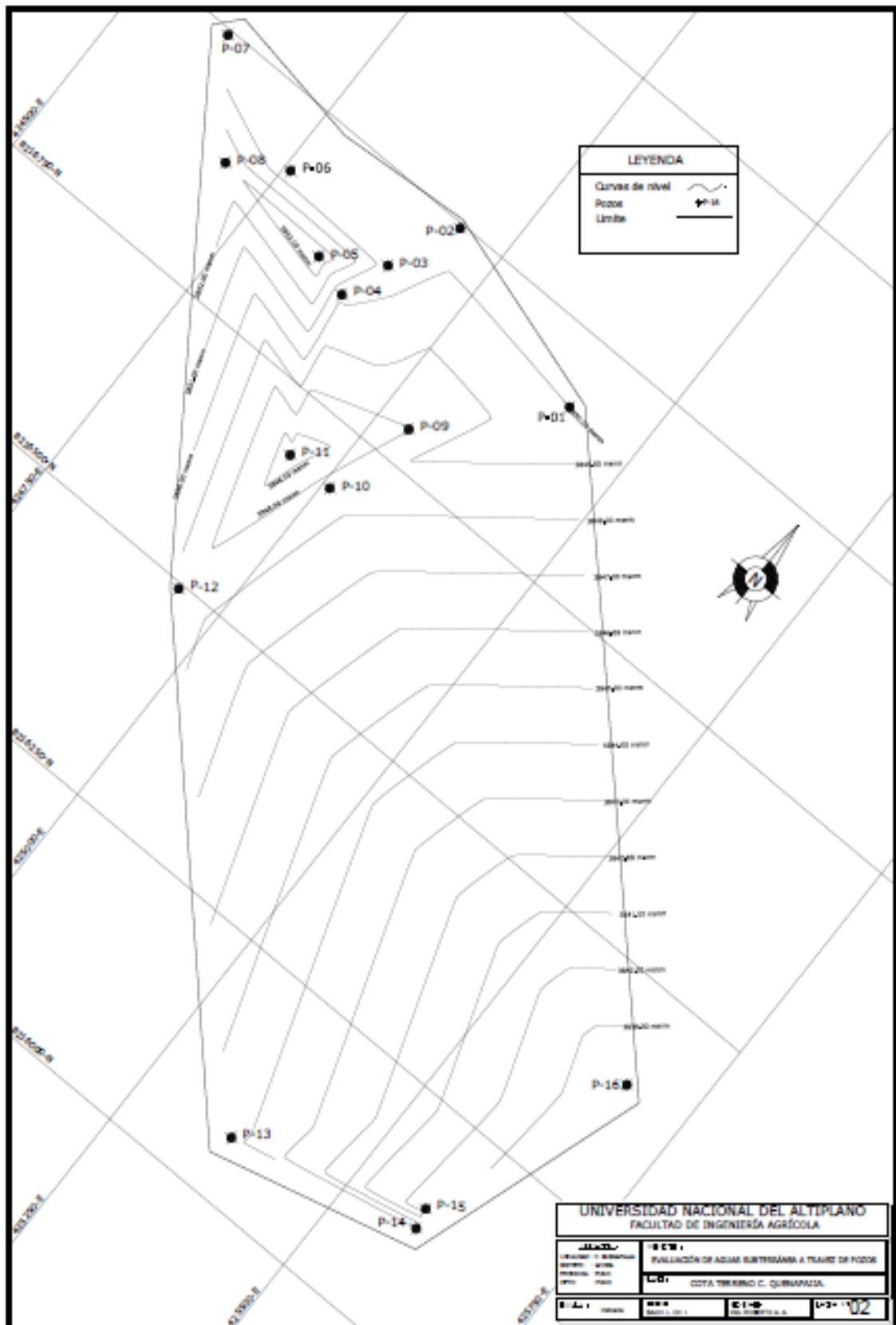
Para determinar la conductividad hidráulica se realizaron pruebas de campo las cuales consistieron en la extracción total del agua de pozo con la ayuda de una electrobomba, una vez extraído el agua del pozo se comienza a medir la ascensión del nivel freático para esto se tomó intervalos uniformes de tiempo el cual fue de 1.00 hora, los valores obtenidos están en un rango de 0.227 m/día como la conductividad hidráulica más baja y se presenta en la región del pozo N° 06 y la región de mayor conductividad hidráulica es la zona donde se encuentra el pozo N° 16 con una conductividad hidráulica de 0.868 m/día.

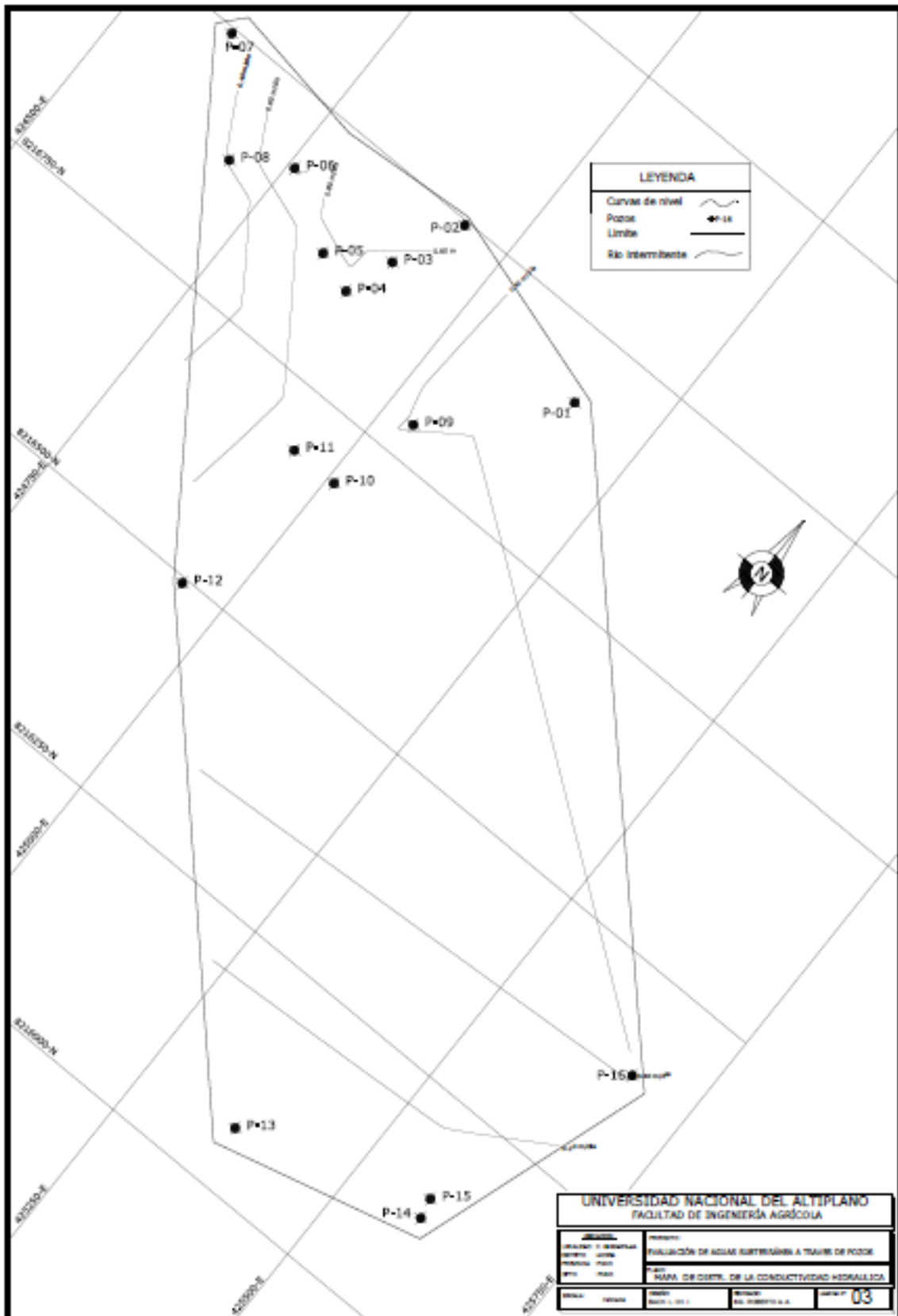
Los resultados se muestran en los cuadros N° 12 mapa N° 03, mapa de distribución de la conductividad hidráulica, y los detalles de cada método en los anexos.

Cuadro N° 19: Valores obtenidos de Conductividad Hidráulica con diferentes métodos de medida puntual.

VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA OBTENIDOS			
POZO	ERNEST	LEFRANC	PROMEDIO
Nº	K (m/dia)	K (m/dia)	K (m/dia)
P-01	0.526	0.552	0.539
P-03	0.346	0.228	0.287
P-06	0.277	0.223	0.250
P-09	0.420	0.368	0.394
P-12	0.838	0.628	0.733
P-16	0.868	0.259	0.563
PROM	0.546	0.376	0.461
MAX	0.868	0.628	0.733
MIN	0.277	0.223	0.250

Fuente: elaboración propia.





4.1.2. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD EFECTIVA.

Los valores de porosidad son obtenidos a partir de la siguiente relación empírica establecida por van beers.

$$m_e = \sqrt{K}$$

Donde:

$m_e$ =porosidad efectiva.

K=conductividad hidráulica (cm/día).

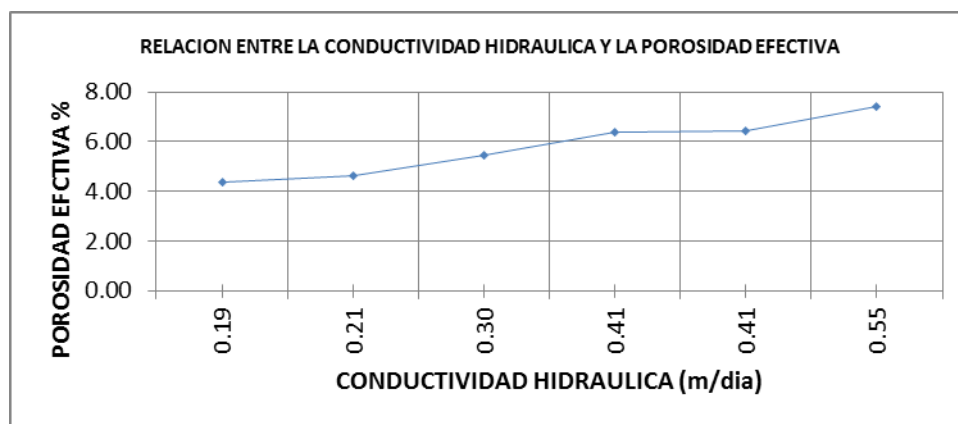
Cuadro N° 20: valores obtenidos de la Porosidad Efectiva.

POZO	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA		POROSIDAD EFECTIVA	POROSIDAD EFECTIVA
	K (m/día)	K (cm/día)	$m_e$ (%)	$m_e$
P-01	0.5051	50.5068	7.107	0.071
P-03	0.5838	58.3809	7.641	0.076
P-06	0.3359	33.5933	5.796	0.058
P-09	0.4289	42.8922	6.549	0.065
P-12	0.6587	65.8711	8.116	0.081
P-16	0.7197	71.9678	8.483	0.085
PROMEDIO	0.539	53.869	7.282	0.073
MAX	0.720	71.968	8.483	0.085
MIN	0.336	33.593	5.796	0.058

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.3. RELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y LA POROSIDAD EFECTIVA.

Figura N° 21: conductividad hidráulica en función de la porosidad efectiva.



#### 4.2. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA NAPA FREÁTICA.

En el comunidad de Quenapajja, se identificaron un total de 16 pozos en donde se realizaron las mediciones de la variación de la profundidad del nivel freático en un periodo de diez meses, una vez conformado la red de observación, se procedió a representar en forma gráfica en mapas consistentes los cuales no permitirán analizar la napa freática, se construyó el mapa de isohypsas, mínimos niveles freáticos, hidrogramas de cada pozo.

##### 4.2.1. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA.

En el presente trabajo se logró inventariar 16 pozos a tajo abierto de acuerdo a la numeración que se realizó en cada pozo, los cuales fueron perforados en forma manual, la construcción de los pozos se realizó entre los años 2006 estos datos se obtuvieron según la entrevista a cada propietario del pozo, además se logró geo referenciar los pozos ubicando

con coordenadas UTM con la ayuda de un GPS de los cuales se obtienen las coordenadas promedio de 8216671 norte y 425060 este, también se determinó la cota terreno de cada pozo, para determinar la cota terreno de cada pozo se recurrió a un plano existente, este trabajo consistió en conocido las coordenadas del pozo se ingresó en la carta nacional escala 1:2500 y al plano antes mencionado interpolando los puntos georeferenciados se obtuvo la cota terreno del pozo, la cota terreno está en un rango de 3856.00 msnm como máximo y un mínimo de 3840.00 msnm, asimismo en el presente trabajo se tomó los datos de los diámetros de cada pozo dichos diámetros varían desde 0.75 m hasta 0.50 m también se tomó los datos de profundidades los cuales varían desde 3.00 m en el pozo N° 16 hasta 6.40 m de profundidad en el pozo N° 08, el estado de conservación y limpieza de los pozos se considera buen estado evaluado de acuerdo a criterio propio, las profundidad de los niveles freáticos varían desde 1.90 m el más cercano a la superficie del terreno el cual se registra en el mes de abril en el pozo N° 15 y de 4.35 m el nivel freático más alejado de la superficie terrestre en el mes de octubre y se registra en el pozo N° 07, las paredes del pozo son de 15 pozos con revestimiento de concreto con anillos prefabricados de C<sup>0</sup>A<sup>0</sup> y 01 pozos con pared de piedra, además durante el proceso de lectura de los niveles freáticos, se logró entrevistar a cada uno de los propietarios los cuales ayudaron con el presente trabajo. Los detalles y los resultados cuantitativos.



**CUADRO N° 22: INVENTARIO DE POZOS EN LA COMUNIDAD DE QUENAPAJJA.**

POZO	COORDENADAS		COTA TERRENO	DIAMETRO (m)	PROF. DEBAJO		PROF TOTAL	COTA FONDO	TIPO DE PERFORACION	AÑO CONSTR	ESTADO ACTUAL
	NORTE	ESTE			DEL NF (H)	NF					
P-01	8216922	425161	3852.00	1.50	4.00	2.00	6.00	3846.00	T.A.	2006	B.E.
P-02	8216995	424944	3853.00	1.50	3.60	2.60	6.20	3846.80	T.A.	2006	B.E.
P-03	8216913	424907	3853.00	1.50	4.00	2.00	6.00	3847.00	T.A.	2006	B.E.
P-04	8216856	424887	3853.00	1.50	3.00	3.00	6.00	3847.00	T.A.	2006	B.E.
P-05	8216872	424841	3856.00	1.50	3.60	2.20	5.80	3850.20	T.A.	2006	B.E.
P-06	8216924	424758	3852.00	1.50	4.20	2.00	6.20	3845.80	T.A.	2006	B.E.
P-07	8216994	424611	3853.00	1.50	2.55	3.35	5.90	3847.10	T.A.	2006	B.E.
P-08	8216885	424696	3856.00	1.50	3.30	3.10	6.40	3849.60	T.A.	2006	B.E.
P-09	8216790	425037	3850.00	1.50	3.40	2.40	5.80	3844.20	T.A.	2006	B.E.
P-10	8216685	425009	3851.00	1.50	2.70	2.10	4.80	3846.20	T.A.	2006	B.E.
P-11	8216685	424952	3849.00	1.50	2.10	2.40	4.50	3844.50	T.A.	2006	B.E.
P-12	8216494	424947	3851.00	1.50	2.20	2.20	4.40	3846.60	T.A.	2006	B.E.
P-13	8216070	425368	3846.00	1.50	4.00	2.20	6.20	3839.80	T.A.	2006	B.E.
P-14	8216124	425590	3845.00	1.50	3.40	2.10	5.50	3839.50	T.A.	2006	B.E.
P-15	8216147	425585	3841.00	1.50	3.00	1.90	4.90	3836.10	T.A.	2006	B.E.
P-16	8216393	425674	3840.00	1.00	0.95	2.05	3.00	3837.00	T.A.	2006	B.E.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. LECTURAS DE LA NAPA FREÁTICO.

Par realizar las lecturas del comportamiento del nivel freático se tomó un periodo de 10 meses, las primeras lecturas se iniciaron en el mes de Setiembre del 2014 y las ultimas lecturas de la variación del nivel freático de obtuvieron en el mes de junio del 2015, las lecturas realizadas para cada mes corresponden a un solo día de observación en los 16 pozos en un intervalos de lectura a lectura de 30 días, los resultados de las variaciones de las lecturas es como sigue: el nivel freático más cercano a la superficie terrestre se obtuvo en el pozo N° 15 con una lectura de 1.00 m cuya cota del nivel freático es de 3839.80 msnm en el mes de febrero del 2015 y la más profunda es decir el nivel freático más alejado de la superficie terrestre se obtuvo en el pozo N° 07 con una lectura de 3.35 m cuya cota de nivel freático es de 3849.95 msnm de, asimismo se logró obtener los promedios de fluctuación del nivel freático, según las lecturas del nivel freático y las fluctuaciones de los mismos se deduce que la recarga del acuífero corresponde a las precipitaciones pluviales, se ve claramente que en los meses de Diciembre ,enero, febrero, marzo, abril, y mayo el nivel freático se encuentra próximo a la superficie terrestre debido a la presencia de las precipitaciones pluviales y en los meses donde existe ausencia de precipitaciones existe un alejamiento del nivel freático de la superficie terrestre, los resultados cuantitativos.

POZO	COORDENADAS		COTA TERRENO	COTA N. F.	LECTURAS												PROM	MAX	MIN	AMPLITUD
	NORTE	ESTE			AÑO 2014						AÑO 2015									
					sep-14	oct-14	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15						
P-01	8216922	425161	3852.00	3850.47	1.85	2.00	1.92	1.75	1.32	1.32	1.17	1.30	1.32	1.41	1.53	2.00	0.83			
P-02	8216995	424944	3853.00	3851.03	2.38	2.44	2.40	2.20	1.73	1.62	1.61	1.75	1.76	1.81	1.97	2.44	0.83			
P-03	8216913	424907	3853.00	3850.76	2.53	2.52	2.48	2.32	2.15	2.03	1.97	2.10	2.10	2.18	2.24	2.53	0.56			
P-04	8216856	424887	3853.00	3850.58	2.81	2.82	2.81	2.63	2.45	2.10	2.00	2.10	2.19	2.31	2.42	2.82	0.82			
P-05	8216872	424841	3856.00	3854.02	2.27	2.27	2.17	2.02	1.92	1.78	1.75	1.83	1.87	1.95	1.98	2.27	0.52			
P-06	8216924	424758	3852.00	3850.43	1.90	1.90	1.82	1.65	1.42	1.31	1.26	1.40	1.47	1.61	1.57	1.90	0.64			
P-07	8216994	424611	3853.00	3849.95	3.30	3.35	3.23	3.00	2.86	2.73	2.81	2.93	3.15	3.17	3.05	3.35	0.62			
P-08	8216885	424696	3856.00	3853.26	3.17	3.15	3.00	2.81	2.62	2.41	2.38	2.52	2.62	2.75	2.74	3.17	0.79			
P-09	8216790	425037	3850.00	3848.24	2.02	2.05	2.00	1.85	1.64	1.49	1.42	1.58	1.72	1.80	1.76	2.05	0.63			
P-10	8216685	425009	3851.00	3848.83	2.51	2.50	2.45	2.22	2.00	1.90	1.89	1.92	2.10	2.23	2.17	2.51	0.62			
P-11	8216685	424952	3849.00	3846.92	2.35	2.48	2.45	2.25	1.97	1.85	1.77	1.87	1.87	1.91	2.08	2.48	0.71			
P-12	8216494	424947	3851.00	3848.97	2.36	2.35	2.28	2.15	1.95	1.80	1.75	1.83	1.87	1.95	2.03	2.36	0.61			
P-13	8216070	425368	3846.00	3844.64	1.62	1.68	1.62	1.45	1.21	1.12	1.05	1.20	1.25	1.38	1.36	1.68	0.63			
P-14	8216124	425590	3845.00	3843.42	2.00	2.03	1.95	1.70	1.38	1.30	1.21	1.30	1.38	1.53	1.58	2.03	0.82			
P-15	8216147	425585	3841.00	3839.80	1.50	1.45	1.45	1.25	1.03	1.00	1.05	1.10	1.00	1.14	1.20	1.50	0.50			
P-16	8216393	425674	3840.00	3838.19	1.93	2.05	2.03	1.83	1.73	1.69	1.61	1.70	1.72	1.78	1.81	2.05	0.44			
PROMEDIO MENSUAL			3850.06	3848.09	2.28	2.32	2.25	2.07	1.84	1.71	1.67	1.78	1.84	1.93	1.97	2.32	0.66			
MAX.			425674	3856	3.3	3.35	3.23	3	2.86	2.73	2.81	2.93	3.15	3.17	3.053	3.35	0.83			
MIN.			424611	3840	1.50	1.45	1.45	1.25	1.03	1	1.05	1.1	1	1.14	1.197	1.5	0.44			

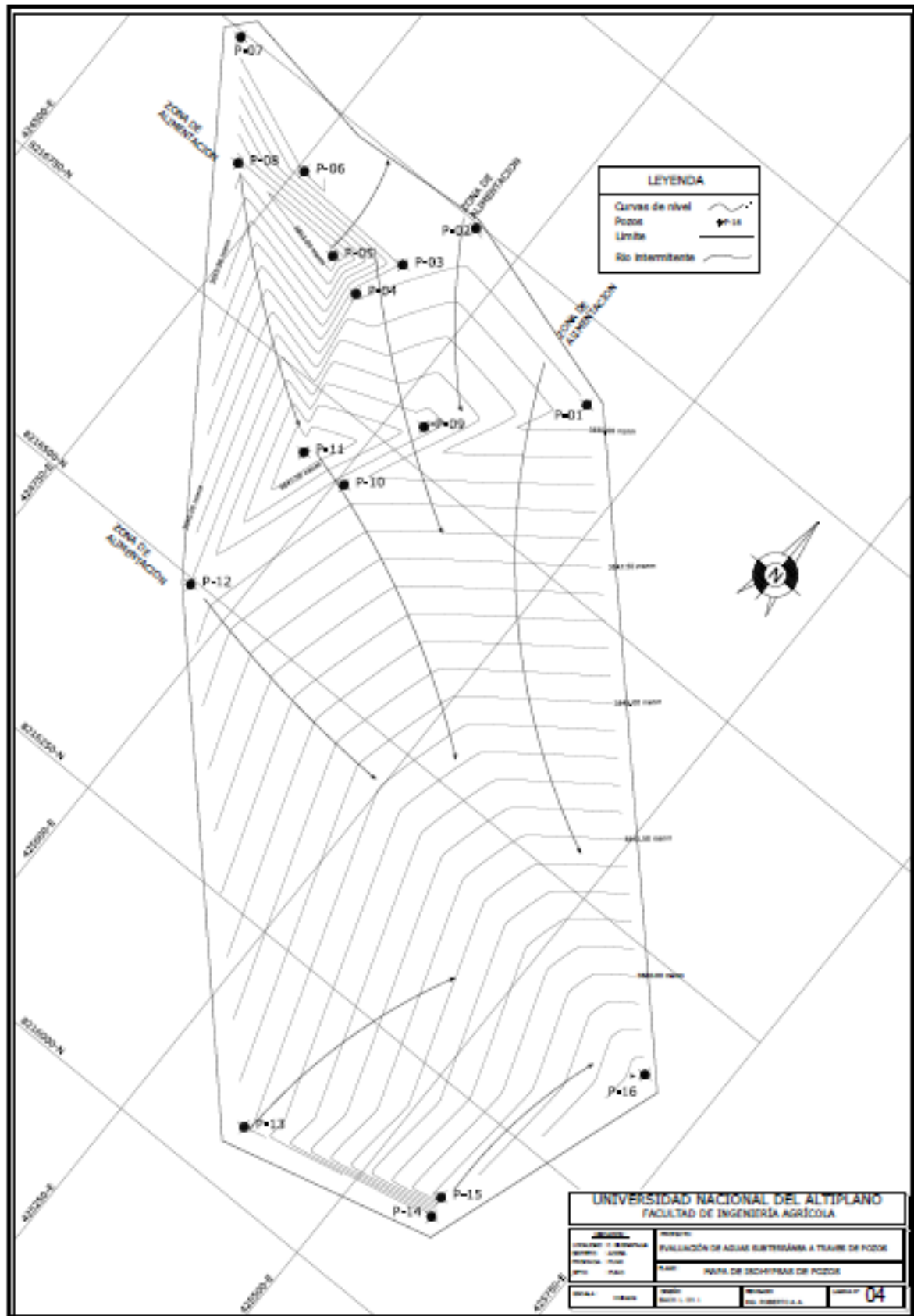
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3. INTERPRETACIÓN DE PLANOS ISOHYPASAS

Para la interpretación de los mapas de isohypsas se toma como base de análisis la distribución, forma y espaciamiento de las líneas principales y secundarias del mapa de isohypsas los cuales se obtuvieron, de las fluctuaciones del nivel freático promedio durante un periodo de 10 meses, según el mapa de isohypsas las curvas de igual profundidad en el área delimitada para fines del presente trabajo, estas curvas isohypsas nos indican y muestran el escurrimiento subterráneo desde las partes altas hacia las partes bajas debido a la gravedad de la tierra ya que se trata de acuíferos libres, la dirección del flujo de acuerdo al análisis de las líneas isohypsas se observa que existe un flujo de entrada de gran magnitud el cual está en sentido perpendicular a las líneas equipotenciales originados principalmente por filtraciones de precipitaciones pluviales, estas líneas, asimismo estas líneas de flujo constituyen los ejes principales de flujo.

Por la forma de distribución de las curvas isohypsas se determina que la zona de alimentación del acuífero es la parte alta al pie de los cerros cuya recarga principal constituye las precipitaciones pluviales del año, además analizando la forma de las curvas y analizando el terreno la zona de drenaje del acuífero está ubicado en la parte baja de la micro cuenca en donde se ve indicios de afloramiento debido a que en esa parte de la micro cuenca existe presencia de pastizales que permanecen activos duran casi todo el año aun en ausencia de precipitaciones pluviales, el mapa de isohypsas se muestra en el mapa.

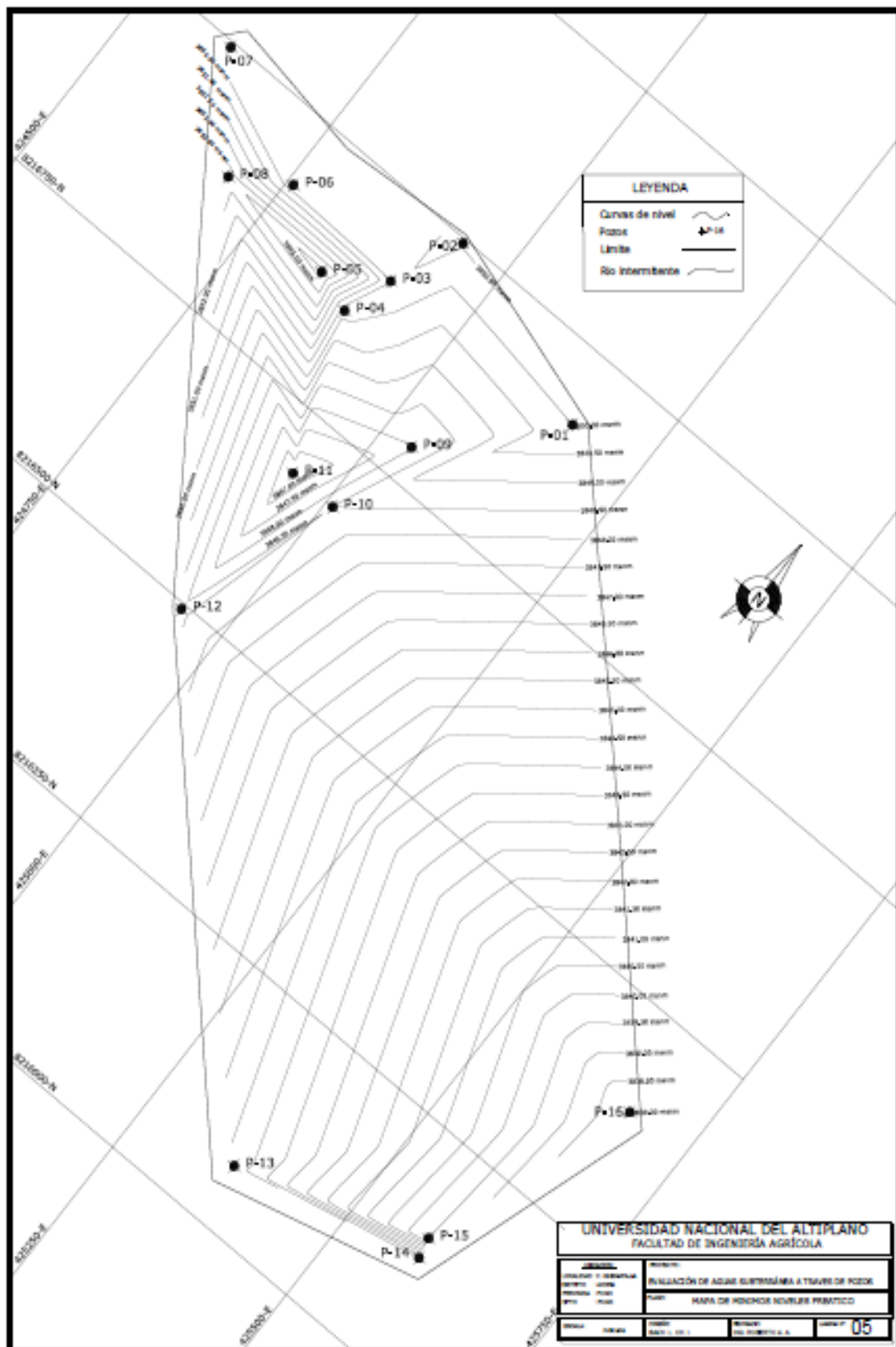
Analizando el mapa de isohypsas se distinguen siete tipos de variación del gradiente hidráulico, distribuidos como sigue:



#### 4.2.4. INTERPRETACIÓN DE PLANO DE MÍNIMOS NIVELES FREÁTICOS.

Este mapa es similar al mapa de isohypsas pero con la diferencia de que se obtiene con las cotas más bajas registradas en cada pozo, este plano nos muestra las condiciones de flujo de un momento dado debido a que las cotas del nivel freático más bajas seleccionadas no corresponden a una sola observación.

Este mapa representa los niveles del manto acuífero cuando estos reciben menos aportaciones, además en este plano se analiza el punto más crítico del manto freático en el cual las reservas de agua subterránea se encuentran a mayor profundidad de la superficie terrestre, este dato es de utilidad para perforar las profundidades de los pozos, además analizando las líneas equipotenciales del mapa marcan la dirección y los recorridos más probables de los flujos de aguas freáticas futuras, el mapa de mínimos niveles freáticos.



#### 4.2.5. INTERPRETACIÓN DEL HIDROGRAMA DE POZOS.

En los hidrogramas obtenidos para cada pozo se observa la velocidad con que el nivel freático asciende y desciende en el transcurso del tiempo, tenemos velocidades altas de hasta 0.83 m de ascenso durante un mes y variaciones de hasta 0.44 m durante el mes, con el análisis de los hidrogramas se observa que la fuente de alimentación del acuífero corresponde a precipitaciones pluviales ya que en los meses donde las precipitaciones son intensas y mayores el nivel freático asciende y se aproxima a la superficie terrestre pero cuando cesa las precipitaciones entonces el nivel freático comienza a descender lentamente posicionándose en un punto crítico bajo.

En los hidrogramas obtenidos para cada pozo se ve la tendencia homogénea.

Los resultados se muestran en Anexo.

#### 4.3. BALANCE HIDROLÓGICO.

##### 4.3.1. Determinación de las reservas variables de agua subterránea (Oferta de agua subterránea)

La oferta de agua del acuífero se determina en función de la porosidad eficaz del acuífero, el área de la superficie, y la variación del espesor del acuífero, para determinar el espesor del acuífero para cada mes se considera la profundidad promedio de las lecturas del nivel freático correspondientes a cada mes.



Y para determinar el volumen de cada mes se procede con la siguiente formula

$$V = n * dh * A$$

Donde:

V=volumen variable de agua subterránea.

n=porosidad eficaz promedio del acuífero.

dh= variación del espesor del acuífero.

#### 4.3.2. Demanda de agua para el cultivo de la alfalfa.

La determinación de la cantidad de agua por hectárea que demanda el estudio y teniendo en cuenta el diagnóstico y estudio agrologico, se ha determinado el requerimiento bruto de agua de pastos cultivos en desarrollo, dependiendo este valor de los siguientes factores: coeficiente de cultivo, área porcentual, precipitación efectiva al 75% de persistencia y la eficiencia del sistema de riego.

La demanda de agua se realizó para el cultivo de la alfalfa, para un área de cultivo de 15.00 has, y una eficiencia de riego de 0.75, el volumen de agua que demanda el cultivo de la alfalfa es de 0.24 MM3.

Los resultados se muestran en los anexos

#### 4.3.3. Balance hídrico

El balance hídrico de un proyecto, resulta de gran interés práctico como por ejemplo para elaborar el calendario agrícola, previsión de pequeños embalses. Etc. su cálculo se puede realizar a partir de valores de la evapotranspiración, haciendo intervenir además la precipitación media mensual.

La demanda de agua para el cultivo de la alfalfa es de 0.24 MM3 en los diez meses y la oferta de agua en el acuífero es de 2.93 MM3 y obteniendo la diferencia de la oferta y la demanda se tiene un superávit de agua de 2.69 MM3 anuales, los que nos indica que el agua subterránea ubicada en el comunidad de Quenapajja es suficiente para abastecer como riego del cultivo de la alfalfa durante los meses de máxima demanda.

Los resultados se muestran en el siguiente:

..

**CUADRO N° 24: OFERTA DE AGUA SUBTERRANEA**

PROYECTO:	EVALUACION DE AGUA SUBTERRANEA A TRAVEZ DE POZOS.											
DEPARTAMENTO:	PUNO											
PROVINCIA:	PUNO										LATITUD SUR	16°05'17.7"
DISTRITO:	ACORA										LONGITUD OESTE	69°38'42.0"
LOCALIDAD:	C.QUENAFAJJA.										ALTITUD	3850.00 msnm
N°	CONCEPTO	UND	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABL.	MAY.	JUN.
1	LECTURA PROMEDIO DEL N.F. MAX	m	3.32	3.35	3.28	3.23	3.10	3.05	3.04	3.10	3.15	3.17
2	LECTURA PROMEDIO DEL N.F. MIN	m	1.05	1.03	0.95	0.80	0.72	0.65	0.63	0.75	0.85	0.90
3	RESERVA VARIABLES EXPLOTABLE	m	2.27	2.32	2.33	2.43	2.38	2.40	2.41	2.35	2.30	2.27
4	SUPERFICIE PIEZOMETRICA	m2	2083794.63	2083794.63	2083794.63	2083794.63	2083794.63	2083794.63	2083794.63	2083794.63	2083794.63	2083794.63
5	VOLUMEN DEL ACUIFERO APROVECH	m3	4730213.80	4834403.53	4855241.48	5063620.94	4959431.21	5001107.10	5021945.05	4896917.37	4792727.64	4730213.80
6	POROSIDAD EFECTIVA		0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
7	VOLUMEN DE AGUA SUBTERRANEA	m3	283812.83	290064.21	291314.49	303817.26	297565.87	300066.43	301316.70	293815.04	287563.66	283812.83
8	VOLUMEN DE AGUA SUBTERRANEA	MM3	0.2838	0.2901	0.2913	0.3038	0.2976	0.3001	0.3013	0.2938	0.2876	0.28
9	VOLUMEN ANUAL	MM3	2.93									

Fuente: FAO.



**CUADRO N° 26: BALANCE HIDRICO**

PROYECTO:	EVALUACION DE AGUA SUBTERRANEA A TRAVEZ DE POZOS.													
DEPARTAMENTO:	PUNO												LATITUD SUR	16°05'17.7"
PROVINCIA:	PUNO												LONGITUD OESTE	69°38'42.0"
DISTRITO:	ACORA												ALTITUD	3850.00 msnm
LOCALIDAD:	C.QUENAFAJA.													
Nº	CONCEPTO	UND	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	VOLUM.	
1	REQUERIMIENTO DE AGUA	MM3	0.0322	0.0232	0.0167	0.0242	0.0163	0.0106	0.0228	0.0287	0.0319	0.0324	0.2390	
2	VOLUMEN DE AGUA SUBTERRANEA	MM3	0.2838	0.2901	0.2913	0.3038	0.2976	0.3001	0.3013	0.2938	0.2876	0.2838	2.9331	
3	BALANCE	MM3	0.2516	0.2668	0.2747	0.2796	0.2812	0.2894	0.2785	0.2652	0.2557	0.2514	2.6941	

Fuente: FAO.

#### 4.4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA CON FINES DE RIEGO ALFALFA.

La calidad de agua subterránea con fines de riego se evaluó por los parámetros establecidos por la FAO los cuales mediante la comparación de tablas se puede concluir que el agua subterránea es apta para el riego.

Los resultados de análisis físico químico del agua subterránea se realizaron en el Megalaboratorio de Investigación Ambiental – Suelo y Agua de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, dando el siguiente resultado el análisis realizado físico químico es apto para el riego de Alfalfa, Que se Muestran en Anexo.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO.

Cuadro N° 27: resultados de laboratorio.

INFORME DE ANALISIS POZO N° 02			INFORME DE ANALISIS POZO N° 06	
PARAMETROS	CONCENTRACION	UNIDAD DE MEDIDA	CONCENTRACION	UNIDAD DE MEDIDA
Temperatura	14.67	°C	14.72	°C
pH	6.76	(H)	6.82	(H)
Potencial Redox(Eh)	14.3	mV	10.05	mV
Conductividad Electrica	898	uS/cm	580	uS/cm
Turbiedad	13.6	NTU	5.56	NTU
Solidos Disueltos Totales	630	mg/L	400	mg/L
Salinidad	450	mg/L	290	mg/L
Alcalinidad (CaCO3)	120	mg/L	100	mg/L
Cloruro (Cl)	149.74	mg/L	199.66	mg/L
Dureza Total (CaCO3)	644.8	mg/L	254.4	mg/L
Sulfatos (SO4)	244	mg/L	228	mg/L

Fuente: elaboración propia.

Cuadro N° 28: Valores normales para Análisis de Agua para Riego.

PARAMETRO	VALORES NORMALES	UNIDADES
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	0 - 3	Ds/m
TOTAL DE SOLIDOS DE DISOLUCION	0 - 2	mg/litro
CALCIO	0 - 20	meq/litro
MAGNESIO	0 - 5	meq/litro
SODIO	0 - 40	meq/litro
CARBOMATOS	0 - 0-10	meq/litro
BICARBONATOS	0 - 10	meq/litro
CLORURO	0 - 30	meq/litro
SULFATOS	0 - 20	meq/litro
POTASIO	0 - 2	mg/litro
BORO	0 - 2	mg/litro
PH	6 - 8.5	
RAS	0 - 15	

Fuente: FAO

## V. CONCLUSIONES.

### 5.1. CONCLUSIONES.

- La Conductividad Hidráulica se evaluó con la aplicación de tres métodos (Ernest y Lefranc), estos métodos nos permiten el cálculo de la conductividad hidráulica tomando en cuenta el diámetro del pozo, el área de la región filtrante, el tiempo de ascenso del freático, y diferencia de presiones para un intervalo de tiempo, entre los métodos aplicados hay una ligera diferencia.

Los valores de la conductividad hidráulica obtenidos varían desde 0.34 m/día hasta 0.72 m/día estos datos comparados con los cuadros N° 02 corresponde a una clasificación de media a baja o moderadamente lenta, el material conformante es de arena limosa y franco arenoso y la porosidad efectiva es la cantidad de agua que está disponible para explotar en un medio poroso, los valores de porosidad efectiva se calcularon para cada pozo bombeado por el método desarrollado por Van Beers, los valores obtenidos varían desde 5.80 % hasta 8.48 %, comparando con los cuadros N° 08, corresponde a una estructura prismática y columnar, y una textura de arena limosa y franco arenoso y arcilla.

- El comportamiento del napa freático durante el periodo estudiado, nos indica que las principales fuentes de recarga del acuífero provienen de las partes altas de la microcuenca los cuales se deben principalmente a precipitaciones pluviales que se presentan durante el año la velocidad aparente del agua subterránea es de 0.080 m/día, la forma de distribución de las curvas isohypsas indican que zonas de recarga las partes altas y zonas de drenaje las partes bajas de la microcuenca, además la dirección de flujo es de las partes altas a las partes bajas influenciado por la



gravedad terrestre, en las zonas más próximas y alejadas del nivel freático, los hidrogramas de cada pozo tienden a la misma curva, en el Hidrograma se observa una amplitud de 0.66 m promedio el nivel freático se aproxima más a la superficie del terreno.

- Los cálculos del balance hídrico tienen como resultado los siguientes: la oferta anual de agua subterránea es de 2.93 MM<sup>3</sup>, este valor corresponde a las reservas variables del acuífero, es decir son aquellas reservas renovables las que en forma práctica son explotables, mientras que las reservas permanentes del acuífero no se pueden explotar debido a que estas reservas alimentan a una serie de flora y fauna, de la demanda de agua con fines de riego anual para el cultivo la alfalfa de 0.24 MM<sup>3</sup>, con lo que se determina el balance hídrico en volumen de 2.69 MM<sup>3</sup> de superávit anual en volumen y la calidad de agua subterránea con fines de riego, de una muestra analizada en el Megalaboratorio de Investigación Ambiental – Suelo y Agua UNA-Puno, presenta los siguientes resultados, no presenta peligro de sales solubles, ni contenido de elementos tóxicos, y comparando con el cuadro 28 de los resultados de las dos muestras, y los valores establecidos por la FAO se llegó a la conclusión de que el agua existente en los pozos analizados de la comunidad de Quenapajja es apta con fines de riego del cultivo de la alfalfa.

## 5.2. RECOMENDACIONES.

- ✓ Aprovechar las aguas subterráneas poco profundas, mediante un programa de perforación de pozos a mayores profundidades de los existentes, con miras a ampliar su aprovechamiento para uso agrícola y realizar estudios en las pampas de la zona, carente de información hidrogeológica para el estudio de litología y pruebas hidráulicas.
  
- ✓ Se recomienda realizar un proyecto de abastecimiento de agua subterránea para riego del cultivo de la alfalfa, “instalación de electrobombas” en cada pozo, este proyecto puede ser financiado por la municipalidad distrital de Acora u otras entidades como Gobierno Regional o Nacional.
  
- ✓ Se recomienda realizar las capacitaciones limpieza y cloración para un adecuado uso racional del agua, de los pozos principalmente de la zona baja de estudio de la calidad de agua subterránea y el estudio de impacto ambiental.

### 5.3. BIBLIOGRAFIA

- 1 CASTANY, G. M. (1995). "Tratado practico de las aguas subterráneas". Ediciones Omega S.A. Barcelona. ES. 672 P.
- 2 COLLAZOS, C. M. (2012). "Ciencias Geológicas" Universidad de la Republica Montevideo. UR. 120 P.
- 3 CUSTODIO, E. M. (2003). "Hidrología subterránea" Tomo II Ediciones Omega S.A. Barcelona. ES. 981 P.
- 4 DONADO, G. L. (2004). Tesis de Magister en Ingeniería Recursos Hídricos. Bogotá. COL. 89 P.
- 5 ESPINOZA, C. C. (2004). Aportes de Hidráulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento, Universidad de Chile. CH. 18 P.
- 6 GONZALES, T. C. (2007). Especialista en Ambiente Servicio de Extensión Agrícola. P. R. 76 P.
- 7 GOICOCHEA, R. J. (2012). "Ingeniería de drenaje". Universidad Nacional Agraria la Molina Lima. PE. 157 P.
- 8 MACE R. C. (1999). Estimación de la Conductividad Hidráulica 259 P.
- 9 MOGG, J. L. (1971). "Hidráulica de pozos". Universidad Nacional Agraria la Molina Lima. PE. 73 P.
- 10 MONTAÑO, X. J. (2012). Profesor de Hidrología Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica Montevideo. UR. 120 P.
- 11 ORDOÑES, G. J. (2011). Aguas Subterráneas Cartilla Técnica, Gestión Integral de Recursos Hídricos, Lima PE. 16 P.
- 12 PÉREZ, F. D. (1995). "La explotación del agua subterránea un nuevo enfoque". Editorial científico - técnica. La Habana CU. 500 P.
- 13 PIMENTA, J. (1980). "La captación de las aguas subterráneas". Segunda edición Editorial Técnicos Asociados S.A. Barcelona ES. 202 P.
- 14 PRICE, M. (2003). "Agua subterránea". Editorial Limusa S.A. ME. 330 P.
- 15 PULIDO, C. J. (1978). "Hidrogeología practica" 1ra. Edición S. A. ME. 314 P.

- 16 SANTAYANA, V. S. (1994). Estudio hidrogeológico con fines de ubicación de un pozo para el abastecimiento de agua potable al campus de la Universidad Ricardo Palma, Lima PE. 125 P.
- 17 SÁNCHEZ, S. F. (2014). Medias Puntuales de la Permeabilidad (slug tests) Departamento de Geología Universidad de Salamanca ES. 58 P.
- 18 SALGADO, S. L. (2001). Caracterización Hidrodinámicas del Suelo, Conductividad Hidráulica, Espacio Drenarle Poroso, Espesor de Régimen de Flujo. Facultad de Ingeniería Agrícola Santiago CH. 50 P.
- 19 VÁSQUEZ, V. A. (2000). "Manejo de cuencas alto andinas" Tomo I Universidad Nacional Agraria La Molina Lima, PE. 512 P.
- 20 BILLON, B. M. (2004). Hidrología Aplicada Instituto Tecnológico de Costa Rica Editorial Villon, Lima PE. 434 P.
- 21 VILLON, B. M. (2013). "Ingeniería de drenaje". Instituto Tecnológico de Costa Rica. Editorial Villon, Lima, PE. 544 P.

**ANEXOS.**