

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA
MICROCUCENCA CENTRAL HUAYTA - LAMPA”**

TESIS

Presentado por:
BRUCELEE RAMOS ARACA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO

PERÚ

2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA
**“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA MICROCUENCA
CENTRAL HUAYTA- LAMPA”**

T E S I S

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

BRUCELEE RAMOS ARACA

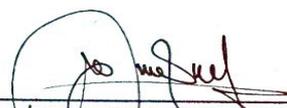
A LA DIRECCION DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA AGRICOLA, COMO REQUISITO PARA
OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRICOLA

APROBADO POR:



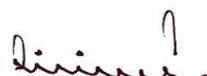
PRESIDENTE
Msc. Oscar Mamani Luque



PRIMER MIEMBRO
Ing. Edilberto Huaquisto Ramos



SEGUNDO MIEMBRO
Ing. Marco Antonio Rodriguez Mendoza



DIRECTOR
Ing. Teofilo Chirinos Ortiz

2008-II

ÁREA : Ingeniería y Tecnología

TEMA: Modelamiento de aguas subterráneas

LÍNEA: Recursos Hídricos

DEDICATORIA

Con inmenso cariño y eterno gratitud a mis queridos padres Moises Ramos Ticona y Carmen Rosa Araca Ito por su inmenso comprensión y sacrificio en el logro de mi noble profesión que ellos se siempre quisieron lo mejor de mi persona, que actualmente radican en Juliaca.

Con amor y mucho respeto a mi esposa Lucinda Blanco Larico, quien con su apoyo se logro todos los objetivos que tenemos y en especial al pequeño Lee Alem, quien es la razón de mi vivir.

Con fraternal afecto a mi hermana: Rosa, y los pequeños Iara Alexandra y Remy Jhair por su orientación y apoyo económicamente y socialmente.

AGRADECIMIENTO

Mi persona desea expresar sus sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Facultad de Ingeniería Agrícola, por haber permitido conocer la importancia y el desarrollo de la Ingeniería Agrícola en nuestro país y el mundo.

Al Ing. Teofilo Chirinos Ortiz, Director del presente trabajo de investigación y como mi profesor.

Al Ing. Julian Ramos por la acertada colaboración en la disciplina de Geofísica.

Y finalmente a todos mis compañeros de estudio y amigos del trabajo quienes motivaron la conclusión de mi carrera profesional y mi trabajo de investigación.

INDICE	
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
INDICE.....	iii
RELACION DE CUADROS.....	v
RELACION DE GRAFICOS.....	vi
RELACION DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	2
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos de la Investigación.....	5
1.5. Objetivo General.....	5
1.6. Objetivo Especifico.....	5
II. MARCO TEORICO	6
2.1. Estudio Hidrológico.....	6
2.2. El Agua Subterránea en el Ciclo Hidrológico.....	11
2.3. El Agua Subterránea y Acuíferos.....	11
2.4. Hidráulica Subterránea.....	22
2.5. Hidráulica de Pozos.....	25
2.6. Comportamiento de la Napa Freática.....	29
2.7. Calidad de Agua Subterránea.....	31
2.8. Estudio Hidrogeológico.....	32
III. MATERIALES Y METODOS.....	38
3.1. Delimitación General del Área de Estudio.....	38
3.2. Estudio Hidrológico.....	43
3.3. Características y Geológicas y Geomorfológicas.....	47
3.4. Estudio de Agua Subterránea.....	49
3.5. Evaluación de la Napa Subterránea.....	49
3.6. Calidad de Agua Subterránea	51
3.7. Estudio Hidrogeológico.....	54
3.8. El Reservorio del Acuífero.....	56
3.9. Características Hidrogeológicas del Subsuelo.....	57

3.10.	Calculo de las Reservas Totales del Acuífero.....	57
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
4.1.	Delimitación General del Área de Estudio.....	60
4.2.	Estudio Hidrológico.....	60
4.3.	Características y Geológicas y Geomorfológicas.....	67
4.4.	Estudio de Agua Subterránea.....	69
4.5.	Evaluación de la Napa Subterránea.....	72
4.6.	Hidrogeoquímica.....	74
4.7.	Estudio Hidrogeológico.....	79
4.8.	El Reservoirio del Acuífero.....	82
4.9.	Características Hidrogeológicas del Subsuelo.....	85
4.10.	Calculo de las Reservas Totales del Acuífero.....	86
V.	CONCLUSIONES.....	89
VI.	RECOMENDACIONES.....	90
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	91
VIII.	ANEXOS.....	92

RELACION DE CUADROS

✓ Cuadro 2.1. Valores de porosidad y rendimiento específico.....	15
✓ Cuadro 2.2 Valores de compresibilidad de la matriz sólida.....	16
✓ Cuadro 2.3 Propiedades físicas del agua a la presión atmosférica.....	17
✓ Cuadro 2.4 Valores de porosidad y rendimiento específico.....	19
✓ Cuadro 3.1 Cuadro de característica de la estación meteorológica.....	43
✓ Cuadro 3.2 Factor de evapotranspiración	45
✓ Cuadro 3.3 Cuadro de características de escorrentía.....	46
✓ Cuadro 3.4 Clasificación de las aguas según su dureza.....	51
✓ Cuadro 3.5 Clasificación de agua para riego según Wilcox.....	52
✓ Cuadro 3.6 Límites máximos tolerables.....	53
✓ Cuadro 3.7 Cuadro de resistividades de aguas y rocas.....	54
✓ Cuadro 3.8 Valores estimados de la porosidad (%).....	59
✓ Cuadro 4.1 Evapotranspiración potencial.....	64
✓ Cuadro 4.2 Balance hídrico de la estación meteorológica.....	65
✓ Cuadro 4.3 Volumen de explotación de aguas subterráneas según uso.....	71
✓ Cuadro 4.4 Profundidades actuales máximas y mínimas.....	71
✓ Cuadro 4.5 Características de las pruebas hidrodinámicas realizadas.....	72
✓ Cuadro 4.6 Resultados de la conductividad hidráulica.....	73
✓ Cuadro 4.7 Resultados de las pruebas de bombeo.....	73
✓ Cuadro 4.8 Radio de influencia.....	74
✓ Cuadro 4.9 Análisis físico-químico de agua.....	78

RELACION DE GRAFICOS

✓ Grafico 4.1 En el siguiente grafico se muestra las precipitaciones registradas en máximas, mínimas y promedio de la estación Lampa.....	61
✓ Grafico 4.2 En el siguiente grafico se muestra las temperaturas registradas en máximas, mínimas y promedio de la estación Lampa.....	62
✓ Grafico 4.3 En el siguiente grafico se muestra la evaporación registradas en máximas, mínimas y promedio de la estación Lampa.....	63
✓ Grafico 4.4 Valores de Conductividad Eléctrica.....	75
✓ Grafico 4.5 Variación de la dureza en la Microcuenca.....	76
✓ Grafico 4.6 Variación de pH en la Microcuenca.....	77
✓ Grafico 4.7 Niveles de variación de agua en el mes de setiembre del 2011...	84
✓ Grafico 4.8 Nivel freático de agua en la Microcuenca Central Huayta mes de abril 2012.....	85

RELACION DE FIGURAS

✓ Figura 2.1 Distribución, presión y perdida de carga en el flujo de agua través de columnas de arena.....	23
✓ Figura 4.1 Primer SEV.....	80
✓ Figura 4.2 Segundo SEV.....	81
✓ Figura 4.3 Tercer SEV.....	81

RESUMEN

En el presente Trabajo de Investigación titulado “Determinación del Potencial de Agua Subterránea en la Microcuenca Central Huayta- Lampa” está ubicado en la Provincia de Lampa, Región de Puno, que incluye las Comunidades Campesinas, de Central Huayta, Canteria, Juan Velasco Alvarado, Enrique Torres Belen, Jatun Laruni, Huayllani y Lenzora, de acuerdo al censo realizado en el año 2008 en la Microcuenca Existen 147 familias todos son del sector Rural.

En la Microcuenca se caracteriza porque disponen de aguas superficiales solo durante el período de lluvias y el resto del tiempo dependen de las aguas subsuperficiales, que aparentemente corresponden a acuíferos superficiales con gran potencial hídrico, que lamentablemente no se pueden aprovechar de manera integral por la ausencia de proyectos de aprovechamiento específicos. Este es el caso de la Microcuenca Central Huayta del Distrito de Lampa, que es una zona con gran potencial agropecuario, que solo destina el 30% de su área total a la actividad productiva.

En la Microcuenca se realizó el monitoreo de pozos con la ayuda de un multiparametro y un GPS ubicándose 136 Pozos dentro de la Microcuenca midiéndose “in situ” Ce, pH, dureza total, encontrándose que la conductividad eléctrica que fluctúa entre 0.01-2.30 ds/m, agua que representa de mediana a alta mineralización, en caso de dureza se encontró que fluctúa 70-917 ppm CaCO_3 , aguas que representan de blandas a duras y pH fluctúa entre 6.13-7.51 valores que representa de aguas ligeramente acida a aguas ligeramente alcalina.

En los análisis físico químico, las aguas tienen un PH es 7.5, el CaCO_3 es 677.16 mg/l, el Cl^- es 208.36 mg/l, $\text{SO}_4 =$ es 200 mg/l, Ca^{++} es 169.40mg/l, Mg^{++} es 61.12 mg/l, según la OMS son aguas aptas para riego yno para consumo humano.

En el sondaje realizado se ubicaron tres puntos, se encontró depósitos clásticos superficiales, arenas, gravas y limos, con una profundidad de 71.16 m.

El volumen total infiltrado en la Microcuenca, es de 4075033.19 m³ al año, el Volumen almacenado en la Microcuenca es de 8805.5352. m³ y el volumen total de descarga es de 4055498.525 m³.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El agua subterránea se ha venido acumulando a través de varios siglos, aumentando ligeramente su volumen algunos años por el efecto de las lluvias. El término "agua subterránea" no se refiere a una agua cualquiera que se halle por debajo de la superficie del terreno, sino al agua que se encuentra en las rocas, sean estas consolidadas o no y que son suficientemente permeables como para permitir que cantidades apreciables de agua se desplacen hacia los pozos.

Las aguas subterráneas contienen siempre en estado natural una serie de sales disueltas. Estas sales se originan por el contacto del agua en movimiento con los diversos materiales del suelo y el subsuelo. De la misma forma, el agua se recoge materia orgánica natural de las hojas, hierbas y vegetación en diversos estados de biodegradación y diluye gases atmosféricos. El resultado de estos contactos es que el agua acumula ciertas cantidades de impurezas naturales por disolución o reacción química seguida de disolución.

Los cambios en la calidad de las aguas subterráneas son causados por la introducción de sustancias químicas o biológicas en el medio ambiente subterráneo debido a la actividad humana, por la interferencia cuantitativa con los esquemas naturales, o por las diversas combinaciones posibles entre todos ellos.

El agua subterránea en estos tiempo se ha visto como una oportunidad de explotación al déficit mundial que pueda existir de agua dulce, por esta razón el estudio de agua subterránea se debe priorizar a todo tipo de escala y este estudio es una parte de todo el plan que se puede hacer en el fantástico mundo de agua subterránea.

1.2. Planteamiento del Problema

La disponibilidad de los recursos hídricos es muy irregular en el espacio y el tiempo, en la mayoría de los departamentos del Perú. Situación de la que no escapa el departamento de Puno, que además está expuesto a frecuentes sequías, tales como las ocurridos en los años 1982/83-1989/90-1991/92-1997/98.

Esta irregular distribución espacial y temporal de los recursos hídricos, no se da en la misma magnitud en las aguas superficiales y subterráneas; por lo que, en muchos casos y de acuerdo a la disponibilidad solo se hace uso de las aguas superficiales durante todo el año y en otros se usan ambas fuentes en distintas proporciones.

Esta última situación es muy frecuente en muchos lugares del departamento de Puno, que se caracterizan porque disponen de aguas superficiales solo durante el período de lluvias y el resto del tiempo dependen de las aguas subsuperficiales, que aparentemente corresponden a acuíferos superficiales con gran potencial hídrico, que lamentablemente no se pueden aprovechar de manera integral por la ausencia de proyectos de aprovechamiento específicos.

Este es el caso de la Microcuenca Central Huayta del Distrito de Lampa, que es una zona con gran potencial agropecuario, que solo destina el 30% de su área total a la actividad productiva, debido a limitada disponibilidad de aguas superficiales durante el período de lluvias y la escasa explotación de aguas subterráneas, de buena calidad para riego, durante el período de estiaje. Esto hace que la población tenga desplazarse grandes distancias para trasladar el agua para consumo humano, así también movilizar diariamente el hato ganadero para que tome agua, principalmente durante el período de estiaje. Lo cual genera una baja productividad agropecuaria, pérdida de horas hombre productivas por el traslado de agua, inasistencia del niños a su centro educativo, entre otros.

En base a la información proporcionada por algunos pobladores que explotan aguas del subsuelo en la zona y a lo observado en una fase exploratoria, se puede inferir que éste tiene las características de un acuífero libre, no fluctuante, de aceptable calidad para consumo humano y riego, con una profundidad superior a los 20 m.

El desarrollo socio económico de la zona, solo será posible si se puede aprovechar de manera integral el agua del subsuelo, dada las condiciones de disponibilidad hídrica propias de la Microcuenca.

Para ello se plantea el siguiente problema principal: ¿Cuál es el potencial de las aguas subterráneas de la Microcuenca Central Huayta? Así también los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son las características

hidrogeológicas del acuífero? ¿Cuánto es la disponibilidad hídrica? ¿Cuál es la calidad de agua subterránea?

1.3. Justificación

El principal problema que se detecta en la Microcuenca Central Huayta es el deficiente uso del recurso hídrico subterráneo, de no tener un adecuado estudio en la zona, además en toda la zona de estudio cuenta con solo estudio de manera superficial, "hace falta de una prospección geofísica del suelo".

Un estudio hidrogeológico en la Microcuenca de Central Huayta, la finalidad es conocer la dinámica del acuífero en toda la Microcuenca de manera directa, esta investigación propondrá una evaluación la importancia del recurso hídrico subterráneo, en la zona de estudio no se cuenta con datos directos sobre el potencial del acuífero.

Por lo mencionado anteriormente, en el presente trabajo se realizara, un estudio hidrogeológico en la Microcuenca de Central Huayta, la cual comprenderá desde estudios generales, determinación de las características geomorfológicas del suelo, y demás estudios que requiere el acuífero, la cual nos llevara una aproximación real del comportamiento de la napa freática.

Dicho estudio permitirá una adecuada y eficiente gestión del recurso hídrico de la Microcuenca.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.5. Objetivo General

- Determinar el potencial del agua subterránea de la Microcuenca Central Huayta del Distrito de Lampa.

1.6. Objetivo Especifico

- Determinar la caracterización del acuífero de la Microcuenca Central Huayta
- Determinar la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo de la Microcuenca Central Huayta
- Determinar la calidad de agua en la zona de estudio

2. MARCO TEORICO

2.1. Estudio Hidrológico

2.1.1. Sistema de Información Geográfica

Chuvieco (1992), estas herramientas nos permite aprovechar la vasta cantidad de información, entre estas se tiene los sistemas de información geográfica, la técnica del SIG permite abordar la tarea de integración entre una y diversas variables de componentes espaciales y darles múltiples aplicaciones.

Berry (1986), menciona que el ingreso de las computadoras y el desarrollo de programas, el SIG es definido con un sistema de hardware y software que integra modernas técnicas de mapeo computarizado con potentes operadores analíticos de base de datos geográficos.

2.1.2. Ciclo Hidrológico

Blair (1957), el ciclo hidrológico es el proceso rotativo del agua en la naturaleza y los fenómenos físicos y biológicos que intervienen para el proceso de este ciclo son; precipitación, evaporación, infiltración, y escorrentía.

Chow (1994), es ciclo hidrológico es la fuente principal de la hidrología. El ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua.

2.1.3. Precipitación

Aliaga (1985), la precipitación es la caída en forma solida (granizo, nieve), se forman los glaciares, de donde se forma la sublimación, cambio del

estado del agua de sólido a gaseoso y fusión, cambio de estado del agua de sólido a líquido que se convertirá en escorrentía o infiltración.

Molina (1975), señala que el conocimiento de la hidrología de superficie es de vital importancia, puesto que nos permite estudiar los ciclos más rápidos de circulación del agua, donde se mueve grandes volúmenes anuales que se deben aprovechar al máximo, tratando de mejorar técnicas para lograrlo; aunque la mayoría de los factores que intervienen en ella son de carácter aleatorio, por lo que muchos de los métodos de estudio apelan las probabilidades y estadísticas de donde se deduce que la hidrología de superficie descansa sobre datos proporcionados por una red de estaciones de observación, un estudio hidrológico compone los siguientes elementos, precipitación, evaporación, infiltración y escorrentía.

2.1.4. Cuenca

Berry (1986), la cuenca fluvial es el área tributaria hasta un punto determinado sobre una comente y está separada de las cuencas adyacentes por una divisora o parte aguas que puede tratarse sobre mapas o planos topográficos.

Chow (1992), una cuenca es el área de terreno que drena hacia una corriente hacia un lugar dado. O dicho de otra forma, es el área de captación de agua de un río.

2.1.5. Medición de la Precipitación

La precipitación se mide en (mm, mm/día, mm/mes, mm/año), fundamentalmente a través de instrumentos denominados pluviómetros y pluviógrafos.

- a) **Método de la Media Aritmética.**- Consiste en calcular el promedio aritmético de las precipitaciones observadas en diferentes puntos de la cuenca, es el método más simple pero que solo da buenos resultados cuando el número de pluviómetros es grande.

Formula No 2.1:

$$P = \frac{P_1+P_2+\dots+P_n}{n} \dots\dots\dots 2.1$$

Donde:

P1, P2, Pn = precipitaciones anuales observadas.

n = número de años de observación.

- b) **Método de Polígono Thiessen.**- este método consiste en:

- Unir las estaciones mediante rectas formando triángulos
- Trazar las mediatrices de los lados de los triángulos formando polígonos; cada polígono; cada polígono es el área de influencia de cada estación.
- Hallar a las áreas parciales A1, A2, ..., An de los polígonos.
- Establecer alturas de precipitación anual por cada estación P1, P2, ..., Pn.

Formula No 2.2:

$$p = \frac{P_1A_1+P_2A_2+\dots+P_nA_n}{A_1+A_2+\dots+A_n} \dots\dots\dots 2.2$$

Donde:

P : Precipitación media

A_i: área de influencia parcial

P_i: precipitación de la estación I

c) Método de Isoyetas.- se define como la línea de igual precipitación; método que consiste en:

- Las isoyetas, interpolando entre las diversas estaciones de método similar a como se trazan las curvas de nivel.
- Hallas las áreas parciales A₁, A₂,..., A_n entre cada 2isoyetas seguidas.
- Si P₂, P₁,...,P_n son las precipitaciones anuales representadas por Isoyetas respectivas, entonces:

Formula No 2.3:

$$P = \frac{\frac{P_2+P_1}{2}A_1+\dots+\frac{P_{n-1}+P_n}{2}A_n}{A_1+\dots+A_n} \dots\dots\dots 2.3$$

Donde:

P: precipitación media

A_i: área parcial comprendida entre las Isoyetas P_M, P_i

2.1.6. Escorrentía Superficial

Molina (1975), la escorrentía es parte del ciclo hidrológico constituida por el agua que fluye sobre la superficie del suelo, formando al final los diferentes cursos del agua. Del mismo modo define a la escorrentía superficial, como parte de la precipitación que no se evapora, no se infiltra, ni se almacena sobre el suelo si no que se escurre siguiendo la pendiente del terreno hacia los sistemas de drenaje de la cuenca.

a) Composición de la Escorrentía.

Las aguas provenientes de las lluvias, granizadas garúas y de las nevadas pueden llegar al curso de agua por cuatro días diferentes:

- Escurrimiento o escorrentía superficial.
- Escorrentía sub-superficial.
- Escorrentía subterránea.
- Precipitación directa sobre la superficie de agua libre.

Formula N° 2.4: Composición de la escorrentía

$$V = PPA * C * A \dots\dots\dots 2.4$$

Donde:

V : Volumen de escorrentía (m³)

PPA : precipitación total anual media (mm)

C : factor o coeficiente de escorrentía

A : área de la cuenca tributaria (Has)

b) Factor de Escurrimiento (c)

Villon (2002), es un componente del ciclo hidrológico, y se define como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (estación de aforo)

2.2.El Agua Subterránea en el Ciclo Hidrológico

Santayana (2000), el agua subterránea no permanece estática, se mueve a través del acuífero y dentro del ciclo hidrológico, el ciclo hidrológico es la serie de transformaciones que ocurren en la circulación del agua en el atmosfera, en la superficie y en las zonas subsuperficiales de la tierra, el agua subterránea la cual esta continuo movimiento, llegando a aflorar a la superficie, como manantiales, o alcanzando los cauces, finalmente a los océanos, a partir de los océanos , se vuelve a iniciar el ciclo, en forma continua y permanente.

Sánchez (2001), el agua que se infiltra y llega a la zona saturada circula por el acuífero siguiendo los gradientes hidráulicos regionales, hasta que sale al exterior o es extraída su recorrido puede ser de unos metros o de bastantes kilómetros, durante un periodo de unos mese o de miles de años.

2.3.El Agua Subterránea y Acuíferos

2.3.1. El Agua Subterránea

Santayana (2000), el agua subterránea es aquella que se encuentra dentro del ciclo hidrológico, yaciendo bajo la superficie del suelo, bajo condiciones se saturación. El agua subterránea proviene de la infiltración de las aguas superficial, el agua que se infiltra se mueve, la interior del suelo, en forma vertical descendente (percolación) hasta

alcanzar la napa subterránea (zona saturada del suelo), el límite de separación entre la zona saturada y no saturada del suelo se denomina nivel freático.

Vieredel (1994), los recursos hídricos se presentan principalmente en fuentes subterráneas y en menor orden, en aguas superficiales. Esta situación se presenta como consecuencia del especial significado, que desempeña el enorme reservorio subterráneo recoge y luego protege el recurso almacenado en periodo de lluvias. Esta agua se extrae en muchas formaciones geológicas:

- De los polos de los depósitos aluviales (arrastrado por las aguas), glaciares o eolianas de materiales granulares no consolidadas, tales como arena grava y material no consolidado.
- De las fracturas y fisuras de rocas ígneas.

2.3.2. El Reservorio del Acuífero

Santayana (2000). Un acuífero es toda formación geológica capaz de contener y transmitir agua, también puede definirse como el medio poroso, donde se almacena agua y través del cual esta puede moverse o fluir libremente.

El material permeable contiene espacios vacíos interconectados suficientemente numerosos y grandes para permitir que el agua se mueva libremente, en algunos materiales permeables el agua subterránea puede moverse varios metros por día; en otros, se moverá unos centímetros por

siglo. El agua subterránea se mueve muy lentamente a través de materiales impermeables, tales como la arcilla y la pizarra.

2.3.3. Tipos de Acuífero

Santayana (2000), generalmente se distinguen dos tipos de acuíferos, desde el punto de vista geológico, los medios porosos consistentes de agregados de partículas individuales tales como arena o grava, son llamados no consolidados, en ellos el agua subterránea acurre y se mueve a través de los poros. Los medios porosos donde los granos no son conectados el uno al otro se consideran no consolidados, como las areniscas, por ejemplo. En las rocas el agua subterránea se mueve a través de las fracturas o fisuras, tal como las rocas fracturadas de granito y basalto, en las calizas con fracturas, estas frecuentemente pueden ser ampliadas por el agua, formando canales grandes o aun cavernas, estas calizas, donde la solución ha sido muy activa se llaman Kárstica.

Vierendel (1994), desde el punto de vista geotécnica hay dos tipos de acuíferos. Los medios porosos consistentes de agregados de partículas individuales tales como arena o grava, son llamados no consolidados, si los granos se cementan juntos, tales acuíferos son llamados consolidados, como las areniscas, por ejemplo. En las rocas fracturadas, el agua subterránea se mueve a través de las fracturas o fisuras.

a) Acuífero Confinado.- se trata de una formación permeable comprendida entre dos estratos impermeables, es decir, los límites superior e inferior son capas impermeables o confinantes, que mantienen el agua presión, por lo que el flujo en este tipo de acuíferos es a presión como en tuberías.

b) Acuífero Libre.- está caracterizado por la presencia de una superficie libre de agua (niel freático) que constituye su límite superior, su imite inferior puede ser una formación impermeable o semipermeable, la presión del agua en estos acuíferos sigue las leyes hidrostáticas. El espesor saturado de un acuífero libre varía en función de la recarga, de la extracción o desagüe del agua lo que origina que el nivel freático ascienda o descienda.

c) acuíferos semiconfinados.- en un acuífero semiconfinado cuando el límite superior es una capa semipermeable, o sea, tiene una permeabilidad muy inferior a la del acuífero, su comportamiento hidráulico es similar al acuífero confinado, a través de la capa semipermeable puede existir movimiento de agua, la cual será ascendente cuando la carga hidráulica en el acuífero semiconfinado sea mayor que al del acuífero superior o será descendente cuando la carga hidráulica en el acuífero superior sea mayor.

2.3.4. Propiedades de los Acuíferos

Los acuíferos poseen características, relacionados con la capacidad de almacenamiento de agua y su movimiento, o parámetros hidráulicos.

a) Porosidad (n).

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

Santayana (2000), es una relación de volumen de vacíos al volumen total, mide la capacidad de una formación para contener agua. La porosidad varía desde valores, muy altos en las arcillas (45 %) hasta valores muy bajos en

las formaciones con grandes cavidades o cavernas, una alta porosidad no indica que se puede extraer el agua subterránea fácilmente.

Formula No 2.5:

$$n = \frac{Vv}{Vt} \dots\dots\dots 2.5$$

Donde:

Vv: volumen de vados

Vt: volumen total del acuífero

n : porosidad

$$Vv = V_a + V_w$$

Donde:

Va: volumen de aire

Vw: volumen de agua

Cuadro No 2.1 Valores de porosidad y rendimiento específico

Material	Porosidad (%)	Porosidad Efectiva (%)
Arcilla	45	3
Arena	35	25
Grava	25	22
Grava y arena	20	16
Arenisca	15	8
Calizas y esquistos	5	2
Cuarcitas y granitos	1	0.5

Fuente: Santayana (2000)

b) Almacenamiento Específico (Ss).

Santayana (2000), está relacionado con el volumen de agua que puede extraerse por unidad de volumen de un acuífero; por drenaje en los acuíferos libres, o por expansión del agua y compactación de la matriz solida en los acuíferos confinados, cuando el gradiente hidráulico disminuye en una unidad.

Formula No 2.6

$$Ss = \rho g(\alpha + n\beta) \dots \dots \dots 2.6$$

Donde:

- ρ : Densidad del agua (kg/m³)
- g : Aceleración de la gravedad (m/s²)
- α : Porosidad del acuífero (adimensional)
- n : Compresibilidad vertical de la matriz solida del acuífero (m²/N)
- β : Compresibilidad del agua (m²/N)

Cuadro No 2.2 Valores de compresibilidad de la matriz solida a (m²/N)

MATERIA	α (m ² /N)
Acilla	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸
Arena	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁹
Grava	10 ⁻⁸ -10 ⁻¹⁰

Fuente : Santayana (2000)

Cuadro No 2.3 Propiedades físicas del agua a la presión atmosférica o ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

Temperatura	peso específico	Masa Específica	Modulo de Elasticidad	Coef. De Compresibilidad	Viscosidad Dinámica	Viscosidad Cinemática
0	999.07	101.93	1.99×10^{18}	0.5025×10^{-3}	1.785×10^{-3}	1.785×10^{-6}
10	999.73	101.91	2.09×10^{18}	0.4785×10^{-3}	1.0371×10^{-3}	1.306×10^{-6}
20	998.23	101.76	2.18×10^{18}	0.4587×10^{-3}	1.0021×10^{-3}	1.003×10^{-6}
30	995.67	101.5	2.20×10^{18}	0.4545×10^{-3}	0.7981×10^{-3}	0.800×10^{-6}
40	992.24	101.14	2.21×10^{18}	0.4525×10^{-3}	0.6531×10^{-3}	0.658×10^{-6}
50	998.07	100.72	2.22×10^{18}	0.4505×10^{-3}	0.5471×10^{-3}	0.553×10^{-6}
60	983.24	100.23	2.23×10^{18}	0.4448×10^{-3}	0.4661×10^{-3}	0.474×10^{-6}

Fuente : Santayana (2000)

c) Coeficiente de Almacenamiento(S).

Vierendel (1994), es el volumen de agua que se puede extraer de un acuífero de una sección unitaria cuando el nivel estático o piezométrico desciende un metro.

Sánchez (2001), es el volumen de agua liberado por una columna de base unidad y de altura todo el espesor del acuífero cuando el nivel piezométrico desciende una unidad.

Formula No 2.7:

$$S = D \cdot S_s \dots \dots \dots 2.7$$

Donde:

S: coeficiente de almacenamiento

D: espesor del acuífero (Saturado)

Ss: almacenamiento específico.

d) Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K).

Lohman (1977). Define como un, medio determinado tiene una conductividad hidráulica de longitud unitaria por unidad de tiempo si transmite en la unidad de tiempo un volumen unitario de agua subterránea, al viscosidad que se encuentra a través de una sección de área unitaria normal a la dirección del flujo y bajo un gradiente de carga hidráulica unitaria.

Santayana (2000), es la propiedad relacionada con la facilidad que ofrece el medio poroso al movimiento del agua; depende tanto de las propiedades del fluido como de la matriz sólida.

En el aprovechamiento del agua subterránea, se define como el flujo del agua a través del área unitaria, transversal a la dirección del flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario, a la temperatura de 20°C. Presenta dimensionalmente L/T y suele expresarse en cm/s o m/día, en el sistema métrico decimal en la ley de Darcy.

Formula No 2.8:

$$V = k * i \dots\dots\dots 2.8$$

Donde:

V: velocidad del flujo (m/s) o descarga específica

i: gradiente hidráulico

K: conductividad hidráulica (m/día)

e) Rendimiento Específico (Sv)

Santayana (2000), es el porcentaje de los poros Ínter-conectados a través de los cuales se produce el flujo del agua subterránea; también pueden definirse como la razón entre el volumen del agua drenada por gravedad y el volumen total del medio poroso.

Fórmula No 2.9:

$$S_y = \frac{V_w}{V_a} = \frac{\text{Volumen del agua}}{\text{Volumen del acuífero}} \dots\dots\dots 2.9$$

Donde:

Sy: almacenamiento específico

Vw: volumen de agua

Va: volumen de acuífero

Cuadro No 2.4 Valores de porosidad y rendimiento específico

MATERIAL	POROSIDAD (%)	POROSIDAD EFECTIVA (%)
Arcilla	45	3
Arena	35	25
Grava	25	22
Grava y arena	20	16
Arenisca	15	8
Calizas y Esquistos	5	2
Cuarcita y granitos	1	0.5

Fuente: Santayana

En la tabla No 2.4 se representan dos valores referenciales de porosidad y rendimiento específico de algunos materiales de los acuíferos.

f) Transmisibilidad (T).-

Santayana (2000), se define como el flujo de agua que a través de una rea perpendicular a la dirección del flujo, de ancho unitario que se extiende sobre todo el espesor del acuífero, bajo la acción de un gradiente hidráulico unitario, a temperatura de 20°C tiene dimensiones de L^2/T se expresa en $m^2/día$, m^2/s , $m^3/d/m$. en la práctica se pueden encontrar valores de transmisibilidad entre 12.4 y 12,400 $m^2/día$, la transmisibilidad se relaciona con la permeabilidad a través de la siguiente expresión.

Formula No 2.10:

$$T=mK.....2.10$$

Donde:

T: la transmisibilidad (m^2/d)

K: la permeabilidad (m/d)

m: el espesor del acuífero (m)

g) Resistencia Hidráulica.

Lohman(1977), llamada también resistencia al flujo vertical, es una propiedad de los acuíferos semiconfinados. se expresa como la relación entre el espesor saturado (D') y la capa semipermeable y su respectiva conductividad hidráulica (K').

La resistencia hidráulica caracteriza la resistencia de la capa semipermeable a filtraciones ascendentes o descendentes donde C tiene dimensiones de tiempo. Frecuentemente expresado en días; cuando C tiende al infinito el acuífero será confinado.

Formula No 2.11:

Donde:

$$C = \frac{D'}{K} \dots \dots \dots 2.11$$

D': espesor del estrato semipermeable

K': conductividad hidráulica del acuitardo para el flujo vertical (m/d)

C: resistencia hidráulica Tiempo" (d)

h) Factor de Infiltración (I).

Santayana (2000), denominado también factor de fuga determina la distribución de filtración de un acuífero semiconfinado, es decir determina el origen del agua que se extrae de un pozo construido en el acuífero.

Valores altas de L, indican gran resistencia de la capa semipermeable al flujo comparado con el acuífero principal, los valores pequeños de L indican altas tasas de infiltración, L tiene dimensiones de longitud y se expresa en (m), la expresión para su cálculo esta dado por:

Formula Nº 2.12.

$$L = \sqrt{KDC} \dots \dots \dots 2.12$$

Donde:

K: conductividad hidráulica del acuífero

D: espesor saturado

C: resistencia hidráulica de la capa semipermeable

L: factor de filtración

i) Isotropismo y Anisotropismo.

Se dice que un acuífero es isotrópico con respecto a la permeabilidad si esta última es independiente de las direcciones o se dice que el coeficiente de permeabilidad tiene el mismo valor en todas direcciones.

Si un punto en el acuífero la permeabilidad varía con la dirección se dice que el acuífero en el punto considerado es anisotrópico con respecto a la permeabilidad.

Los acuíferos que se encuentran en la naturaleza son comúnmente anisotrópicos por ejemplo: los acuíferos aluviales y las formaciones geológicas estratificadas son más permeables en la dirección horizontal que en la vertical. También puede existir anisotropismo en el plano horizontal.

j) Homogeneidad y Heterogeneidad.

Se dice que un acuífero es homogéneo con respecto a la permeabilidad, si en una dirección dada presenta el mismo valor de permeabilidad en todos los puntos y cuando un acuífero es heterogéneo con respecto a la permeabilidad, si, en una dimensión da el valor de la permeabilidad varía de unos puntos a otro.

2.4. Hidráulica Subterránea

2.4.1. Flujo Subterráneo

a) Ley de Darcy.

Darcy formuló en 1856 la ley fundamental que describe el movimiento del agua a través de un medio poroso saturado. Para ello trabajó mucho en experiencias de laboratorio, y observó que la cantidad de agua que fluía a través de la muestra de arena, por unidad de tiempo, era proporcional a la

diferencia de la carga hidráulica entre la entrada y salida de la muestra ($d_h = h_1 - h_2$), e inversamente proporcional a la longitud de la muestra (L), la expresión encontrada es.

Formula No 2.14:

$$Q = K * A \frac{\phi_1 + \phi_2}{\Delta S} \dots \dots \dots 2.14$$

Donde:

Q : volumen de agua que atraviesa la muestra por unidad de tiempo

A : área de la sección transversal

As : longitud de la muestra

$\phi_1 + \phi_2$: Potenciales en los puntos 1 y 2 respectivamente.

K : constante de proporcionalidad, llamada también coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica, tiene dimensiones de velocidad (L/T).

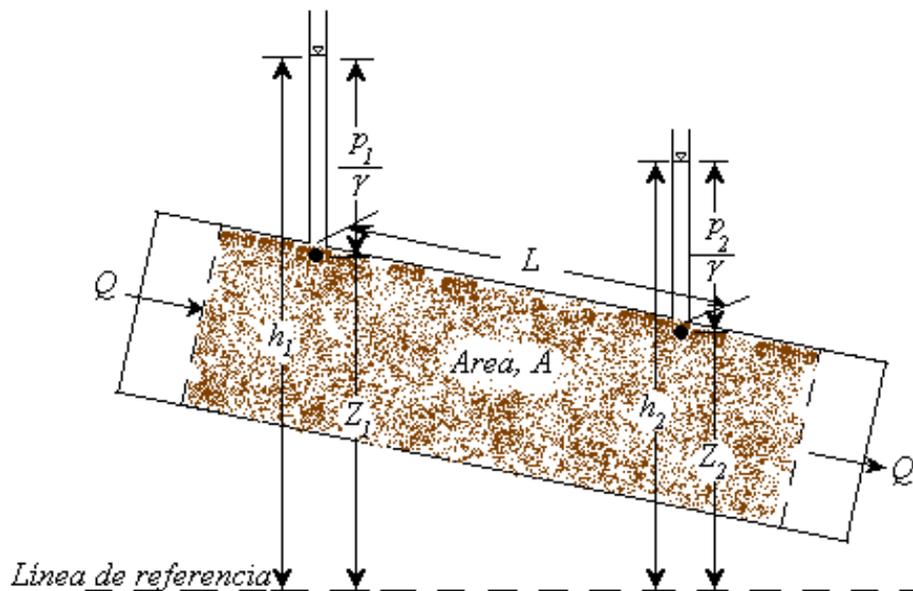


Figura 2.1 Distribución, presión y pérdida de carga en el flujo de agua través de una columna de arena.

2.4.2. Ecuaciones de Flujo Subterráneo

Sánchez (2001), para el establecimiento de la ley fundamental del flujo en medios porosos, Darcy trabajo con el flujo más elemental, es decir el flujo lineal o unidireccional. Pero, desde un punto de vista físico todos los sistemas de fluidos de extienden necesariamente en tres direcciones, siendo su análisis mucho más complicado. Sin embargo, en muchos casos el flujo subterráneo es el mismo plano o en planos paralelos y puede ser tratado, entonces, como flujo bidimensional. Un caso de flujo bidimensional es el flujo d agua subterránea hacia un pozo que penetra totalmente en el acuífero, cuando se bombea el agua, conocido como flujo radial.

Formula N° 2.15.

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots 2.15$$

Tomando en cuenta la ley de Darcy, y suponiendo que el acuífero es homogéneo e isotrópico ($K_x = K_y = K_z = K$), entonces.

Formula No 2.16:

$$V_x = -K \frac{\partial h}{\partial x} \qquad V_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \qquad V_y = -K \frac{\partial h}{\partial y}$$

Donde: V_x , V_y y V_z son los componentes de la velocidad es un sistema de coordenadas tridimensional. Combinado la ecuación de continuidad con la Ley de Darcy, se obtiene la ecuación de Laplace, para flujo tridimensional, en régimen permanente.

Formula No 2.17:

$$\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots 2.17$$

Para régimen no permanente, es decir cuando el flujo varía con el tiempo, la ecuación de Laplace es de la forma:

Formula Nº 2.18.

$$\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \dots\dots\dots 2.18$$

Donde:

S: coeficiente de almacenamiento

T: transmisibilidad

2.5. Hidráulica de Pozos

La mayoría de los casos se le como flujo estable, done se aplica únicamente cuando existe un pozo, el comportamiento del pozo depende del suelo en el cual haya sido perforado donde el caudal depende mucho de la curva de presión del nivel freático, la profundidad, diámetro efectivo y la permeabilidad del acuífero.

2.5.1. Clases de Pozos

Las perforaciones para obtener agua del subsuelo han sido una de las principales causas de la degradación del Recurso Hídrico Subterráneo. No basta con perforar de cualquier manera, hasta una profundidad más o menos conocida en la zona, para acceder a un caudal suficiente y de buena calidad.

Siempre se deben realizar los estudios previos y contar con asesoramiento profesional especializado antes de desarrollar un pozo de explotación.

Con los antecedentes geosísmicos, geoelectricos y demás estudios, el geólogo podrá informar sobre la exacta posición de las napas y diagramar el proyecto de entubamiento, el tipo de filtro, la malla a utilizar, la granulometría del prefiltro, la bomba conveniente, etc.

a) Pozos Freáticos.

Son denominados también pozos no artesianos, este tipo de pozos, a la superficie del flujo es la capa freática, que es el plano de la presión atmosférica más bajo del cual los pozos del acuífero están prácticamente saturados. Tienen como característica el hecho que el flujo o comente no se encuentra presionada por una capa impermeable situada sobre él.

Formula No 2.19:

$$Q = \pi K \frac{(H^2 + h^2)}{2.3 \text{Log} \frac{R}{r}} \dots \dots \dots 2.19$$

Dónde:

Q: caudal de bombeo (m³/d)

K: conductividad hidráulica (m³/d.m²)

H: espesor saturado del acuífero antes del bombeo (m)

h: profundidad del agua en el pozo durante el bombeo (m)

r : radio del pozo (m)

b) Pozo Artesiano.

Denominados también pozos de presión, en este tipo de pozos, el flujo se encuentra presionada por una caja impermeable situada encima del, como

las capas complementarias impermeables se presentan muy rara vez cerca de la superficie, los pozos artesianos son profundos, los pozos artesianos pueden ser con una turgencia o sin turgencia de acuerdo al nivel de su ubicación con relación al nivel de captación.

2.5.2. Pruebas de Bombeo

a) Prueba de Bombeo a Caudal Constante

Cuando se realiza el ensayo a caudal constante es preciso mantenerlo sin variación a lo largo de toda la prueba.

Se denomina régimen permanente a aquel en el cual los niveles no varían con el tiempo, mientras que en el régimen variable sí se producen estas variaciones.

Desde el punto de vista práctico, antes de empezar el ensayo se mide la profundidad del nivel del agua en el pozo de bombeo y en los de observación, si los hubiere. Como consecuencia de un bombeo a caudal constante Q , los niveles descenderán durante un cierto tiempo. Si se interpretan los resultados de la variación de niveles en función del tiempo de bombeo, se estaría en un caso de régimen variable.

Transcurrido un tiempo, los niveles se estabilizan o varían tan poco que pueden considerarse estabilizados. Interpretando los descensos totales habidos, con niveles estabilizados en el pozo de bombeo y los piezómetros de observación, se estaría en un caso de régimen permanente. Cuando se para el bombeo, los niveles comienzan a ascender, tratando de alcanzar la cota inicial en reposo. Si se interpreta

la evolución de los niveles después de la parada, se está en el caso de régimen variable en recuperación.

Por último, en el caso de bombeos a caudal variable pueden existir dos modalidades.

La primera consiste en mantener la depresión fija al nivel de la bomba y medir cómo va variando el caudal con el tiempo. Se le denomina prueba a caudal crítico y se utiliza exclusivamente en acuíferos colgados que reúnan determinadas características.

La segunda modalidad es la de caudales escalonados. En esta se fijan a voluntad distintos caudales, midiéndose la depresión producida por cada uno de ellos. Se utilizan para calcular las pérdidas de carga en el pozo, como consecuencia de una construcción defectuosa.

El Método Logarítmico de Theis

b) Pruebas de Bombeo a Caudal Variable

Tienen como objetivo determinar la eficiencia hidráulica del pozo. Otro de sus objetivos es la obtención del caudal por bombeo óptimo, por lo cual recibe la denominación de prueba de rendimiento. Consisten en someter al pozo a bombeos escalonados incrementales, midiendo los descensos, cuando estos se estabilizan para cada fase o etapa de bombeo (niveles dinámicos estabilizados).

c) Parámetros de Bombeo

- Abatimiento.- es la distancia entre el nivel estático del agua y el nivel de bombeo del agua.

- Radio de influencia.- es la distancia desde el centro del pozo al límite del cono de depresión. Es más grande para conos de depresión que rodean pozos artesianos que para pozos ordinarios. También mayor en formaciones de alta transmisibilidad, comparada con las de baja transmisibilidad.
- Nivel estático- es la distancia desde la superficie del terreno al nivel de agua en el pozo. El nivel estático varía por recargas y descargas debido a sequías y lluvias excesivas, etc.
- Nivel dinámico.- es aquel que se obtiene después de un cierto tiempo de bombeo.

2.6. Comportamiento de la Napa Freática

Los niveles freáticos no permanecen estables sino las posiciones varían, tanto en espacio y tiempo, que definen el comportamiento.

2.6.1. Comportamiento Espacial

El comportamiento espacial se evalúa de la siguiente manera, elaborando mapas de isoprofundidad y de hidroisohipsas que definen la posición de la superficie freática, en diferentes puntos del espacio. En los mapas es posible determinar la profundidad a la que se encuentran los niveles freáticos, en cualquier punto del acuífero para un tiempo determinado, también la dirección del flujo subterráneo, los diferentes gradientes hidráulicos y las zonas de recarga y descarga del acuífero.

2.6.2. Comportamiento Temporal

La evaluación del comportamiento en el tiempo de la napa freática se realiza mediante elaboración de los hidrogramas de pozos que define su variación de los niveles freáticos o piezométrico. Con la información de los hidrogramas de pozos representativos es posible definir las fluctuaciones de los niveles de la napa subterránea.

2.6.3. Fluctuaciones de la Napa

Las fluctuaciones de la napa a través del tiempo, se encuentra gobernadas por factores naturales (hidrometeorológicos) como por factores artificiales (explotación de aguas subterráneas). Con la información piezométrico histórico de pozos representativos de los diferentes sectores del área de estudio, se elaboran hidrogramas de pozo.

2.6.4. Napa Freática

El manto freático (o napa freática, napa subterránea, capa freática, tabla de agua, nivel freático) es el nivel por el que discurre el agua en el subsuelo. En su ciclo, una parte del agua se filtra y alimenta al manto freático, también llamado acuífero. El acuífero puede ser confinado cuando los materiales que conforman el suelo son impermeables, generando tanto un piso y un techo que mantiene al líquido en los mismos niveles subterráneos. No obstante, el acuífero también puede ser libre cuando los materiales que lo envuelven son permeables, con lo que el agua no tiene ni piso ni techo y puede aflorar sobre la superficie. Los mantos freáticos se encuentran en todo el mundo, con la diferencia de que en algunas localizaciones está

presente a una profundidad notable, mientras que en otras está cercano a la superficie (o sobre ella). Resumiendo: el acuífero constituye toda la cuenca subterránea de agua, mientras que el manto freático es el límite y nivel al cual se encuentra el agua bajo la superficie.

2.7. Calidad de Agua Subterránea

Santayana (2000), la calidad del agua subterránea mayormente se evalúa en función a las características químicas de las mismas (Hidrogeoquímica). Solo cuando el uso del agua subterránea es doméstico e industrial interesa su calidad biológica, en la mayoría de los casos la calidad física no significa ningún problema para su uso.

2.7.1. Composición Química

La composición química del agua se refiere al contenido de iones (cationes y aniones) disueltos expresados en me/l, mg/l o ppm. Los cationes que más fácilmente son disueltos en el agua son: sodio (Na^+), calcio (Mg^{++}), y potasio (K^+) y entre los aniones, cloruro (Cl^-), sulfato ($\text{SO}_4^{=}$), carbonato [$\text{CO}_3^{=}$], bicarbonato (HCO_3^-) y nitrato (NO_3^-), según el predominio de iones se establece la clasificación hidrogeoquímica.

2.7.2. Conductividad Eléctrica

Es la recíproca a la resistencia eléctrica e indica, en forma indirecta, la concentración salina de una solución. A mayor concentración de sales la conductividad eléctrica sea mayor. Las unidades de medición son el ds/m o siemens, a la temperatura de referencia de 25°C.

De acuerdo al laboratorio de salinidad de los estados unidos, el agua clasifica, según su aptitud para riego, como: C1, salinidad baja (0-0.25 ds/m); C2, salinidad media (0.25-0.75 ds/m), C3, salinidad alta (0.75- 2.25 ds/m); C4, salinidad muy alta (2.25-5 ds/m).

2.7.3. pH

El pH es la medida de la concentración de iones de hidrogeno (H⁺). El agua neutra (agua destilada) tiene pH 7, las aguas acidas tienen pH < 7y las alcalinas pH > 7.

2.7.4. Dureza

Está relacionada con la capacidad del agua para disolver el jabón o cocinas las menestras y se determina por la cantidad de Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y K⁺, disueltos expresa en ppm de Ca(CO₃) o grados franceses. Es un parámetro importante en la potabilidad del agua, y en los problemas incrustados que pueden ocurrir en los pozos.

2.8. Estudio Hidrogeológico

2.8.1. Inventario de las Fuentes de Agua

La evaluación de los recursos hídricos subterráneos en cualquier estudio hidrogeológico reposa en ejecución de un inventario especializado, el cual consiste en reconocer las fuentes de agua subterránea existentes en el área de estudio, que permitirá determinar los datos de base sobre los factores de flujo del agua subterránea, las características del acuífero y las características técnicas e hidráulicas de los pozos.

Las fuentes de agua subterránea pueden ser naturales manantiales o artificiales (pozos a tajo abierto o tubulares). Para la ubicación de las

fuentes agua subterránea se utiliza plano diferentes a escalas (1/5000, 1/10000, 1/25000), en los acules se registran y plotean los pozos inventariados.

2.8.2. Evaluación del Acuífero

a) Geología del acuífero

El acuífero del sector estudiado se define en cuanto a sus constituyentes, materiales gruesos (cantos rodados, gravas, arenas) y materiales o elementos finos (limos y arcillas), los cuales pueden encontrarse mezclados en diferentes porcentajes o formando capas y lentes de diferente permeabilidad, los materiales más permeables, están constituidos por los cantos rodados, gravas y arenas; la mezcla de gravas, arena y arcillas conforman el material acuífero poco permeable. Si se trata de mezcla de arena con arcilla, el acuífero es menos permeable; es impermeable si se trata de arcilla o del basamento rocoso. La presencia y ubicación de las diferentes capas del material acuífero desde suma importancia para el diseño técnico de los pozos, sobre todo la ubicación de las rejillas.

Por otro lado es necesario conocer, desde el punto de vista geológico, las condiciones de confinamiento o de napa libre, en función de los elementos que lo conforman, permeables o impermeables.

b) Geometría del acuífero

Se debe establecer la conformación del material no consolidado (relleno aluvial), que conforman el acuífero de la zona de estudio, y del basamento rocoso sobre el cual está depositado, que constituye el límite inferior del acuífero. La profundidad a la que se ubica el basamento rocoso, es posible

establecer si en la zona existen pozos perforados que hayan alcanzado dichas profundidades lateralmente, los acuíferos están limitados, por lo general, por afloramientos rocosos, los cuales se establecen en el plano geológico de la zona de estudio.

c) Naturaleza del Acuífero

La naturaleza de los materiales que conforman el acuífero depende, mayormente de la distancia al punto de origen del detritus, de la cantidad de movimiento del flujo que los transporta, de movimientos técnicos y de las condiciones físicas que obstaculizan dicho movimiento. Tanto los sedimentos se refleja en la complejidad de la composición del material del acuífero. Los sedimentos gruesos, a determinada profundidad, raramente están libres de partículas fina. La presencia de partículas fina, en capas, lentes o entremezclados con las materiales gruesos, se explica por la distancia al cauce del rio de origen.

d) Litología

La evaluación litológica se efectúa en base a los perfiles litológicos de algunos pozos perforados dentro del área estudiada, o zona aledañas, con los caudales se puede confeccionar secciones hidrogeológicas esquemáticas, las que muestran la variación de los materiales y su ubicación dentro de los perfiles, estableciendo la existencia de horizontes o capas permeables, semipermeables o impermeables.

e) Geofísica

Con la finalidad de estimar los límites del acuífero, el espesor y la naturaleza de las diferentes capas que lo conforman, así como la

profundidad a que se encuentra e) basamento rocoso, se realiza el estudio de prospección geofísica utilizando para ello sondajes eléctricos verticales, que tiene como principio el envío de corriente eléctrica a diferentes profundidades del acuífero y la medición de la resistencia que ofrecen los materiales al paso de la corriente eléctrica.

En la zona de estudio se debe realizar cantidad de sondajes eléctricos verticales que sean necesarios, teniendo en cuenta la información de trabajos- anteriores, cuya curvas de resistividad aparente se interpretan utilizando monogramas de curvas maestras, y por correlación con la información filológica de las áreas vecinas.

f) Estudio de la Napa

Se realizan campañas de medición de la profundidad de los niveles freáticos en la red de pozos de observación del área de estudio, periódicamente durante el estudio hidrogeológico, con dicha información se evalúa las fluctuaciones de la napa; su morfología y de manera general, la dinámica del agua subterránea en la zona de estudio (movimiento, dirección gradiente hidráulico, zona de recarga y descarga, etc.). Se elaboran e interpretan los planos de curvas de isoprofundidad de la napa y curvas de hidroisohipsas, que permiten definir la profundidad la que se encuentra el nivel freático y su variación espacial en toda área de estudio y conocer el funcionamiento hidráulico del acuífero, zonas de recarga y descarga, dirección del flujo subterránea y gradiente hidráulico. Con la información piezométrico histórica de pozos representativos de la zona de estudio, se

elaboran los hidrogramas de pozo, en los cuales puede definirse la tasa de variación media anual (m/año.)

g) Hidrodinámica

En el estudio hidrogeológico se debe recopilar la información existente sobre las pruebas de bombeo realizado en las épocas de construcción de los pozos o efectuados en estudios anteriores. De ser posible se realizan nuevas pruebas que permitan verificar los parámetros hidrodinámicos del acuífero y las condiciones actuales del funcionamiento de los pozos. Las pruebas de bombeo a caudal variable se utilizan para establecer las condiciones hidráulicas de funcionamiento de los pozos, a través del análisis de sus respectivas curvas de rendimiento. Con las relaciones entre caudales y descensos se puede establecer capacidad o rendimiento específico (1/s/m) de cada pozo evaluado.

h) Hidrogeoquímica

Se refiere al estudio de la calidad química del agua subterránea, que realiza con todas las determinaciones químicas se realizan en el laboratorio, en las muestras de agua tomadas de diferentes pozos de la zona estudiada, algunas mediciones pueden efectuarse directamente en el campo, como la conductividad eléctrica, pH, etc. Los datos recolectados en el campo y los reportados por el laboratorio, son analizados y representados, en el estudio hidrogeológico, en cuadros y gráficos. Analizando la composición química del agua, se establece la clasificación Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas, con la conductividad eléctricas se clasifican las aguas según su aptitud para el riego. La dureza es importante determinarla para definir la potabilidad del agua, y estimar los problemas de incrustación que pueden ocurrir en los pozos, el pH permite establecer la alcalinidad o acidez del

agua, según la relación de absorción de sodio (RAS), se clasifican por el peligro de sodio.

i) Explotación de Aguas Subterráneas

La explotación de aguas subterráneas se realiza mediante la construcción y operación de obras de captación, tales como pozos tubulares, pozos a tajo abierto, drenes, galerías filtrantes, etc.

También es importante conocer los volúmenes de explotación, que contrastado con las reservas explotables del acuífero, permita determinar los volúmenes de agua explotables, mediante el proyecto específico de captación de agua subterránea, también es necesario evaluar el uso actual del agua subterránea, en cuanto a sus diferentes conceptos agrícola, pecuario, poblacional, industrial, etc.

2.8.3. Balance de las Aguas Subterráneas

Sánchez (2001), afirma que el balance de agua de una cuenca vertiente de una región determinada tiene por objetivo de contabilizar los aportes y las pérdidas de agua. El principio de establecimiento exige la igualdad de los aportes y de las pérdidas, calculamos para grandes periodos, cuya ecuación de balance es.

Formula N° 2.20:

$$P=R+E+I \dots\dots\dots 2.20$$

Donde:

P: es la altura de precipitación (mm)

R: escurrimiento superficial (mm)

E: evapotranspiración real (mm)

I: infiltración (mm)

3. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Delimitación General del Área de Estudio

3.1.1. Descripción de la Zona De Estudio.

3.1.2. Ubicación

3.1.2.1. Ubicación Política.

REGION : PUNO
PROVINCIA : LAMPA
DISTRITO : LAMPA
LOCALIDAD : CENTRAL HUAYTA

3.1.2.2. Ubicación Geográfica

LATITUD : 15° 23´ 1”
LONGITUD : 16° 24´ 27”
ALTITUD : 4050- 3890 M.S.N.M.

3.1.3. Aspectos Generales de la Microcuenca

3.1.3.1. Vías de Comunicación y Acceso

El área de estudio se encuentra en el km 18 de la carretera Juliaca- Lampa, y en trocha carrozable a 8 km de la pista hasta la zona de estudio.

3.1.3.2. Área del Proyecto

La superficie total del área es de 2300 has. En donde existe acuífero libres, en la Microcuenca el uso de las aguas subterráneas es su principal fuente de consumo, mediante pozos artesanales.

3.1.4. Características Físicas De La Microcuenca

3.1.4.1. Fisiografía de la Cuenca

La fisiografía del área de estudio los paisajes están ligeramente pronunciados en donde el pendiente fluctúa entre el 26 %, también se nota en la partes montañosas el efecto erosivo que son por causa de temperatura, lluvia, viento, etc.,

3.1.4.2. Recurso Suelo

Teniendo en cuenta los diversos materiales parentales de los suelos de la zona estudiada, se tiene el tipo de suelo de derivados de materiales fluvionicos, como son franco arcilloso, franco limoso, arenas gruesas, arena fina.

3.1.4.3. Recurso Hídrico

En toda la Microcuenca tienen muy pocas fuentes de agua son generalmente de afloramientos subterráneos, como para consumo poblacional o agropecuario.

3.1.4.4. Ecología y Climatología

- ✓ ECOLOGIA.- según la (ONREN) Oficina Nacional De Evaluación De Recursos Naturales, pertenece a un bosque húmedo típico como: queña, acompañada con paja, donde en la zona existe varias microclimas lo cual permite el cultivo de productos agrícolas.

- ✓ CLIMATOLOGIA.-El clima en la zona de estudio es templado frígido, semi seco, donde las temperaturas mínimas se registran en los meses de Junio Y Julio y las temperaturas máximas se presentan en los meses de Diciembre a Marzo.

3.1.4.5. Características Socioeconómicas del Área de Estudio.

En toda la Microcuenca en su gran mayoría se dedica a la agricultura y a la ganadería en pequeñas proporciones, que es la única fuente de ingresos en toda la Microcuenca.

- a) **Población.**-la población de toda la Microcuenca aproximadamente es de 6 individuos por familia, de un total de 147 familias, en la mayoría de los casos están en migración, por consecuencia por falta de trabajo, se van principalmente los jóvenes a las ciudades más cercanas como Juliaca, Arequipa, Puno y demás ciudades.

- b) **Población económicamente activa.**- la PEA de la población total es de 65 % de toda la población que se dedican a la agricultura y la ganadería, y que este porcentaje va en decayendo cada año, ya que la mayoría de los jóvenes hacen sus vidas fuera de la Microcuenca.

3.1.4.6. Servicios Básicos En La Microcuenca

- a) **Vivienda.**-en toda la Microcuenca las viviendas están dispersas, sin ningún tipo de ordenamiento territorial. Carecen de servicios básicos, entre ellos el servicio de agua potable, es por eso que usan pozos artesanales o pozos construidos por

algunas instituciones para su consumo humano y animal.

- b) **Salud.-** la población en toda la Microcuenca no cuenta con ningún posta de salud, la mayoría se traslada a comunidad de CCatacha donde hay un puesto de salud para tratarse de servicios primarios y para casos de gravedad la mayoría debe trasladarse al hospital de Lampa o Juliaca.
- c) **Educación.-**en la Microcuenca solo cuenta con una institución educativa primaria y para el colegio secundario se trasladan unos 15 Km.

3.1.4.7. Idiomas

El zona de estudio los idiomas predominantes es el Quechua y el Castellano

3.1.5. Información Básica

3.1.5.1. Información Cartográfica

- a. Cartas Nacional 1:100 000
- b. Planos catastrales del distrito de lampa
- c. Cartografía digitalizada de la Provincia de Lampa.

3.1.5.2. Información Meteorológica

En toda la Microcuenca, no cuenta con una estación meteorológica, para tal caso se uso la estación más cercana que es la estación de Lampa. Y según el polígono de Thiessen el área

de estudio está dentro del área de precipitación de la estación Lampa.

CUADRO 3.1

Cuadro de característica de la estación meteorológica.

ESTACION	UBICACIÓN			PERIODO DE REGISTROS	Nº AÑOS DE REGISTRO
	LONGITUD OESTE	LATITUD SUR	ALTITUD M.S.N.M.		
LAMPA	70°22'27.12"	15°21'40.1 7"	3892	1958-2010	52

La estación es de tipo Limnimetrica y su operación está a cargo del Senamhi.

Su ubicación es apropiada, pues registra el rendimiento casi del 98.7 % de cuenca húmeda.

3.2. Estudio Hidrológico

En la realización del estudio hidrológico se tomaron datos de la estación meteorológica Lampa, donde se tomo una serie histórica de 48 años, desde 1963-2010.

3.2.1. Precipitación Anual

Para determinar la precipitación media anual en toda la Microcuenca Central Huayta, se determino por el método de promedio aritmético debido a la gran cercanía de la estación meteorológica Lampa, y también según las curvas de Polígono de Thiessen. Para este método se empleo la formula No

3.1:

$$p = \frac{p_1+p_2+\dots+p_n}{n} \dots\dots\dots 3.1$$

Donde:

P1, P2, Pn = precipitaciones anuales observadas.

n = número de años de observación.

3.2.2. Evaporación

La evaporación se determinó sobre la información de datos de evaporación libre media en Tanque (mm/día), registrados en la estación meteorológica de Lampa de 48 años (1963-2010).

3.2.3. Evapotranspiración Potencial

Para el siguiente estudio se utilizó el método de HARGREAVES, que se aplicó la siguiente fórmula 3.2.

$$ETP = MF * TMF * CH * CE \dots\dots\dots 3.2$$

Donde:

ETF= evapotranspiración potencial

MF = Factor mensual

TMF = Temperatura media mensual (°F)

CH = Factor de corrección por la humedad relativa (Hr)

CH = $0.166(100-Hr)^{1/2}$, HR>64%

CH = 1, HR<64%

Hr = Humedad relativa media mensual (%)

CE = Coeficiente de elevación o altitud

CE = $1+(0.04E/ 2000)$

E = Elevación en m.s.n.m.

Cuadro 3.2 Factor de evapotranspiración

FACTOR DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (MF) EN MM POR MES

LAT. SUR	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2.788	2.117	2.354	2.197	2.137	1.990	2.091	2.216	2.256	2.358	2.234	2.265
2	2.371	2.136	2.357	2.182	2.108	1.956	2.050	2.194	2.251	2.372	2.263	2.301
3	2.353	2.154	2.360	2.167	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.386	2.290	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888	1.995	2.150	2.240	2.398	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854	1.960	2.126	2.234	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.050	2.363	2.117	1.980	1.820	1.976	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.478	2.221	2.363	2.099	1.959	1.785	1.893	2.078	2.218	2.233	2.397	2.476
8	2.508	2.237	2.362	2.081	1.927	1.750	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.510
9	2.538	2.251	2.360	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.043	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.320	1.644	1.754	1.976	2.180	2.470	2.497	2.610
12	2.625	2.292	2.350	2.002	1.799	1.608	1.719	1.950	2.169	2.477	2.520	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.572	1.684	1.922	2.157	2.464	2.543	2.675
14	2.680	2.317	2.340	1.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.490	2.566	2.706
15	2.707	2.326	2.334	1.937	1.700	1.500	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.738
16	2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.769
17	2.760	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	1.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.359	2.311	1.867	1.598	1.391	1.504	1.780	2.068	2.508	2.651	2.830
19	2.811	2.368	2.302	1.843	1.564	1.354	1.467	1.750	2.072	2.510	2.671	2.859

Fuente: "principios basicos del riego" A. Vasquez V. Lima -Peru 2001

3.2.4. Balance Hídrico

Para el cálculo del balance hídrico se utilizo el método propuesto por G. Remenieras; la evapotranspiración potencial se determino según la fórmula de Hargreaves, en la evapotranspiración real está ligada al volumen de las precipitaciones.

Formula No 3.3

$$R(\text{reflujos}) = P (\text{Precipitaciones}) - E (\text{Evaporaciones}) \dots\dots\dots 3.3$$

3.2.5. Cuenca Hidrológica

a. Factor de escurrimiento.- Para determinar este parámetro de escurrimiento se basa en la acumulación sobre la base de un puntaje máximo de 100 puntos, que depende de las características relieve, infiltración cobertura vegetal y almacenamiento superficial de la Microcuenca Central Huayta. Se determino mediante la siguiente formula y la tabla.

Formula No 3.4

$$C = \frac{\text{suma de puntaje}}{100} \dots\dots\dots 3.4$$

Cuadro 3.3 Cuadro de características de escorrentía con sus valores numéricos.

Cuadro 3.2 cuadro de características de escorrentía con sus valores numéricos

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA	CARACTERÍSTICAS DE LA ESCORRENTIA Y LOS CORRESPONDIENTES VALORES NUMERICOS			
	EXTREMO	ALTO	NORMAL	BAJO
RELIEVE	Terreno escarpado y empinado con pendientes mayores a 30% Puntos.....40	Accidentes con pendientes promedio del 10 % al 30 % Puntos30	Ondulado con pendientes promedio del 5% al 10% Puntos20	Relativamente plano con pendiente promedio del 0% al 5% Puntos.....10
INFILTACION	Sin una capa efectiva de suelo superficial terreno rocoso de insignificante capacidad de infiltración. Puntos.....20	Lento para absorber el agua, arcilla u otro suelo de baja capacidad de infiltración. Puntos15	Normal, franco profundo con infiltración similar a los suelos típicos de praderas. Puntos.....10	Alta, arena u otro suelo que absorbe el agua fácil y rápidamente. Puntos.....5
COBERTURA VEGETAL	Terreno desnudo o sin cobertura. Puntos.....20	Cobertura regular cultivos limpios (de escarda) o cubierta natural pobre. Menos del 10% del área bajo buena cobertura Puntos.....15	Regular a buena cerca del 50% del área con buenos pastizales, bosques o equivalentes. Nomas del 50% cultivos limpios. Puntos.....10	Excelente, cerca del 90 % del área con buenos pastizales bosques o cobertura equivalente. Puntos.....5
ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL	Insignificantes depresiones en la superficie poco profundas, desagües pequeños empinados no hay lagunas o pantanos. Puntos.....20	Bajo, sistemas bien definidos de pequeños desagües no hay lagunas o pantanos. Puntos.....10	Considerables almacenamiento en depresiones superficiales lagunas y pantanos menores del 2% del área. puntos.....10	Alto almacenamiento en depresiones superficiales, sistema de drenaje no bien definido, muchas lagunas y pantanos. Puntos.....5

Fuente: “análisis de precipitaciones de máximas de 24 horas” Prorridre- Puno-Perú
1994

b. Volumen de escurrimiento.- para estimar el volumen de escurrimiento superficial en su totalidad de superficie receptor en la Microcuenca Central Huayta, se utilizo la propuesta hecha por Absalon Vásquez. Mediante la siguiente formula.

Formula No 3.5

$$V = PPA * C * A \dots\dots\dots 3.5$$

Donde:

V = volumen escurrido (m²)

PPA = precipitación promedio anual (mm)

C = factor de escurrimiento

A = área de la cuenca

3.3. Características y Geológicas y Geomorfológicas

3.3.1. Características Geológicas

Se recabara información de INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico), que ya desde los años sesenta se tiene el proyecto de la Carta Geológica Nacional (Escala 1:100000) la cual tenía y tiene como objetivo principal develar todo rasgo geológico – estructural de nuestro país.

Los nuevos cuadrángulos que se realizan en INGEMMET son más detallados a escala 1:50000 (4 mapas por cuadrángulo anterior) y con estudios más orientados hacia un avance científico acerca de una zona en específico del Perú, en resumen, la geología es una ciencia que evoluciona

constantemente, con teorías y descubrimientos que se dan de acuerdo al avance de la tecnología.

3.3.2. Características Geomorfológicas

Para el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos se uso de la información cartográfica de la topografía, del uso del suelo y de la permeabilidad de la región en estudio. Los planos para estos análisis son usados en escalas desde 1:25.000 hasta 1:100.000, dependiendo de los objetivos del estudio y del tamaño de la cuenca en cuestión. Se podría decir que para cuencas de un tamaño superior a los 100 km², un plano topográfico en escala 1:100.000 es suficiente para las metas pretendidas en el análisis general del sistema de una cuenca.

Al iniciar un estudio geomorfológico se debe empezó por la ubicación de los puntos donde existan en los ríos las estaciones de aforo, para así tener un estudio completo de las variables coexistentes en la Microcuenca: tanto en las excitaciones y el sistema físico, como en las respuestas del sistema de la hoya hidrográfica.

Toda Microcuenca en estudio debe estar delimitada en cuanto a su río principal tanto aguas abajo como aguas arriba. Aguas abajo idealmente por la estación de aforo más cercana a los límites de la Microcuenca en que se está interesado. (Siendo el punto de la estación el punto más bajo en el perfil del río y en el borde de la cuenca de interés). Aguas arriba por otra estación que sea el punto más alto en el perfil del río donde se incluya el

área en estudio, o por las cabeceras del río si es el caso del estudio de la cuenca desde el nacimiento.

3.4. Estudio de Agua Subterránea

3.4.1. Geología del Acuífero

Para saber una que una formación geológica se debe determinas lo siguiente:

Las regiones de los estratos de los acuíferos, además se determinara las interpolación y extrapolación geológica la naturaleza del material existente entre los pozos, y extender la información a mayor profundidad que se podrá obtener esa información con los sondajes realizados.

3.4.2. Monitoreo de Pozos

Para el monitoreo se los pozos se hizo con la ayuda de un GPS, una wincha metálica, se tomara datos de diámetro, nivel piezométrico coordenadas UTM WGS84.

3.5. Evaluación de la Napa Subterránea

3.5.1. Pruebas de Bombeo

Esta prueba consistió en observar los efectos provocados en el nivel freático del acuífero Central Huayta, por la extracción de un caudal conocido, los efectos (Abatimiento) son registrados en el pozo de bombeo y en los Piezómetros.

3.5.2. Parámetros Hidráulicos

Todo acuífero es evaluado por su capacidad de almacenamiento y la aptitud para transmitir agua, siendo por ello importante definir las características hidráulicas como son:

- Transmisividad
- Conductividad hidráulica
- Coeficiente de almacenamiento.

El acuífero en estudio será evaluado en base a las pruebas de bombeo, cuya interpretación y análisis permitirá elaborar el plano de permeabilidades, y el coeficiente de almacenamiento, permitirá determinar el tipo de acuífero es la Microcuenca Central Huayta para esto utilizaremos el método de Theis.

3.5.3. Radio de Influencia

Cuando de bombera se genera a su alrededor un cono de depresión del nivel del agua, la diferencia entre el nivel estático inicial, y su mayor depresión es conocida como abatimiento, y la distancia horizontal desde el pozo hasta el punto de batimiento es cero se denomina radio de influencia.

Para este caso utilizaremos la formula de Theis -Jacob:

Formula No 3.6

$$Ra = 1.5 \sqrt{\frac{T*t}{s}} \dots\dots\dots 3.6$$

Donde:

Ra= radio de influencia

T = Transmisividad en m²/s

T = tiempo de bombeo en segundos

S = coeficiente de almacenamiento

3.6. Calidad de Agua Subterránea

3.6.1. Recolección de Muestras de Agua Subterránea

En el monitoreo de pozos de la Microcuenca Central Huayta, se realizó un muestreo de pozos, a los cuales se determinó "in situ" la conductividad Eléctrica (CE), el pH, los sólidos totales disueltos (STD), y la temperatura "°C", y posteriormente se recogieron muestras de puntos estratégicos en frasco, debidamente etiquetado, indicando el

3.6.2. Resultados de Análisis Físico- Químico

3.6.2.1. Conductividad Eléctrica del Agua

Con la ayuda de un multiparametro se realizó la medida de C. e. y se interpretaron los datos en un cuadro.

3.6.2.2. Dureza Total y PH

- **Dureza total** .-para la medida de la Dureza total expresa generalmente como equivalente de calcio y carbonatos (CO₃), los resultados obtenidos de este parámetro, serán interpretados teniendo en cuenta los rangos de dureza según cuadro:

Cuadro 3.4 Clasificación de las aguas según su dureza

clasificación	Rango	
	dº H (grados franceses)	tipo de CaCO ₃
Agua muy blanda	<3	<30
Agua blanda	3-15	30-150
Agua dura	15-30	150-300
Agua muy dura	>30	>300

Fuente: SANTAYANA V. S., 2000, "aguas subterráneas". Puno

- **pH.-** Mediremos la concentración de iones de hidrogeno en el agua, el cual es utilizado como índice de alcalinidad o acidez de agua.

3.6.3. Representación Grafica

3.6.3.1. Diagrama de Schoeller

Interpretaremos del análisis físico-químicos, con el propósito de conocer los elementos predominantes como de aniones como de cationes.

3.6.4. Aptitud de las Aguas para Riego

3.6.4.1. Clases de agua Según Conductividad Eléctrica

Con los valores obtenidos de la conductividad eléctrica (CE), tendremos una clasificación específica, la misma que usaremos el cuadro de Wilcox, tal como se aprecia en el cuadro.

Cuadro 3.5 clasificación de agua para riego según Wilcox.

CLASIFICACIÓN DEL AGUA PARA RIEGO SEGÚN WILCOX	
CALIDAD DE AGUA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (ds/m)
Excelente	<0.25
Buena	0.25-0.85
Permisible	0.85-2.00
Dudosa	2.00-3.00
Inadecuada	>3.00

Fuente: SANTAYANA V. S., 2000, "aguas subterráneas", Puno

3.6.4.2. Clases de Agua según el RAS y la Conductividad Eléctrica

La potabilidad de las aguas subterráneas de la Microcuenca Central Huayta, se ha analizado bajo dos aspectos

- Bacteriológico
- Límites máximos tolerables de potabilidad, establecido por la OMS.

Cuadro 3.6 Límites máximos tolerables

LIMITES MAXIMOS TOLERABLES	
ELEMENTO	LIMITE MAXIMO TOLERABLE*
pH	7-8.50
Dureza	250-500
Ca (mg/l)	75-200
Mg (mg/l)	125
Na (mg/l)	120
Cl (mg/l)	250
SO ₄ (mg/l)	250

* Límites establecidos por la OMS

Fuente: SANTAYANA V. S., 2000, "Aguas subterráneas",
Puno

3.6.5. Potabilidad de las Aguas

3.6.5.1. Clasificación de las Aguas Subterráneas

La clasificación de las aguas subterráneas en la zona de estudio, se ha realizado teniendo como base los diagramas de potabilidad de muestras de agua de los pozos seleccionados.

3.7. Estudio Hidrogeológico

3.7.1. Prospección Geofísica

En el estudio de la Microcuenca Central Huayta ha sido empleado el de Sondeo electro vertical.

Las resistividades pueden ser relacionadas a la naturaleza de las capas particularmente, en lo que corresponde al contenido de agua en sus poros o fracturas, el contenido salino del agua y al tamaño de los granos de los depósitos, en caso de que se trate de sedimentos no consolidados. En el siguiente cuadro se muestra algunas resistividades más comunes.

3.7 cuadro de resistividades de aguas y rocas

RESISTIVIDAD DE AGUAS Y ROCAS	
TIPO DE AGUA Y ROCA	RESISTIVIDAD ,0hm-m
agua de mar	0.2
agua de acuíferos aluviales	10-30
agua de fuentes	50-100
arenas y gravas secas	1,000-10,000
arenas y gravas con agua dulce	50-500
arenas y gravas con agua salada	0.5-5
arcillas	2-20
margas	20-100
calizas	300-10,000
areniscas arcillosas	50-300
areniscas cuarcitas	300-10,000
eméritas, tobas volcánicas	50-300
lavas	300-10,000
esquistos grafitosos	0.5-5
esquisto arcilloso o alterados	100-300
esquistos sanos	300-3,000
gneis, granito alterado	100-1,000
gneis, granitos sanos	1,000-10,000

Fuente: PARASNIS SO. Principios de geofísica aplicada, editorial PRANINFO. Madrid, 1975

3.7.1.1. Sondeo Eléctrico Vertical

Utilizaremos la siguiente fórmula para el SEV que introduciremos corriente continua al terreno mediante un par de electrodos, llamados

corrientes A y B, y se mide la diferencia de potencial producido por el campo eléctrico así formado, entre otro para de electrodos, llamados electrodos de recepción o de potencial M y N, se calcula la resistividad aparente en cada medición según:

Formula No 3.8

$$\rho = K \frac{\Delta v}{I} \dots\dots\dots 3.8$$

Donde:

ρ : resistividad, Ohm-m

Δv : diferencia potencial entre los electrodos M y N, mV

I: intensidad de la corriente introducida en el terreno

K. constante geométrica que depende de la distribución de los electrodos.

Ello hace que los resultados obtenidos presenten un margen de error que podría llegar normalmente entre $\pm 10 \%$ y $\pm 15 \%$.

3.7.1.2. Trabajo de Gabinete

Para la interpretación de los SEV, se han utilizado dos programas uno es el WINSEV desarrollado en suiza por GEOFOST y el otro IPI2WIN desarrollado por la facultad de geología de la Universidad estatal de Moscú-Rusia

3.8. El Reservorio del Acuífero

Basados en los resultados de levantamiento geológico y geomorfológico, de la prospección geofísica, y de algunos perfiles litológicos de algunos pozos, como

también de las observaciones in situ, se podrá determinar cómo está constituido el acuífero.

3.8.1. Geometría del Acuífero

3.8.1.1. Forma y Limites

Mediante la prospección geofísica se podrá determinar cómo está constituido el acuífero, se determinara los afloramientos rocosos, y las formaciones geológicas diversas utilizando auto CAD Civil 2011.

3.8.1.2. Dimensiones

Mediante la prospección geofísica se podrá determinar las dimensiones reales del acuífero con auto CAD Civil 3D 2011.

3.8.2. El Medio Poroso

3.8.2.1. Litología

Se basara en los resultados de los estudios geológico-geomorfológicos y geofísicos, así como los de los análisis de los perfiles litológicos de algunos pozos y observaciones "in situ", se determinara la litología y los materiales que conforman el acuífero.

3.8.3. Napa Freática

3.8.3.1. Morfología del Techo de la Napa

La finalidad es obtener el resultado de la superficie piezométrico se determinara la dinámica de la napa y estudiar la variaciones de los niveles que conforma la red piezométrico. Mediante piezómetros ya seleccionados uniformemente en toda el área de estudio.

3.8.3.2. Profundidad del Techo de la Napa

Es la variación del nivel estático, que se realizara mediante el inventario realizado durante el inventario de pozos, que se obtendrá mediante los planos de isoprofundidad.

3.9. Características Hidrogeológicas del Subsuelo

3.9.1. Sección del Subsuelo

Esta sección se obtendrá mediante la resistividad del suelo (Ohms-m) que determinaran si existe mineralización de las aguas o no, también en ello se podrá explicar si explicar la existencia de placas tectónicas mediante el SEV.

3.9.2. Áreas y Profundidades de los Horizontes Permeables y Explotables

Mediante las secciones geoelectricos del SEV, se podrá ubicar las áreas y las profundidades aproximadas a las áreas permeables factibles a ser explotadas.

3.10. Calculo de las Reservas Totales del Acuífero

3.10.1. Geología del área

Con los SEVs realizados se observara las cantidades de formaciones geológicas, también se observara la estructura geológica y se identificara la porosidad intergranular.

3.10.2. Realización de inventario y recopilación de información

Tras realizar los SEVs se recopilaran las formaciones por estructura conocidos por los SEVs

3.10.3. Estimación de la precipitación total.

Se estimaran la lluvia útil en toda la Microcuenca mediante un estudio hidrológico y de los cuales se calculara la infiltración total de toda la Microcuenca.

3.10.4. Calculo de la reserva total de agua en el acuífero.

Mediante los SEVs calcularemos el espesor medio de todo el acuífero y el área total en km² que tendremos el volumen total.

Formula No 3.9 Cálculo del volumen total del acuífero

Volumen total= Espesor del acuífero * área de la Microcuenca

Utilizando la porosidad eficaz podemos calcular el volumen de agua gravitica en este caso será: Formula N° 3.10 cálculo total del agua

Vgrav. = volumen total del acuífero * porosidad eficaz.

Teniendo el volumen de agua podremos calcular el volumen total de descarga del acuífero Formula N° 3.11 Volumen total de descarga del acuífero

Volumen de descarga = Infiltración - Vgrav - volumen explotado

Para los datos de porosidad se utilizó la siguiente tabla

Tabla No 3.8 valores estimados de la porosidad (%), según Sanders (1998)

	total	eficaz
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Shale intacta	1 a 10	0.5 a 5
Shale fracturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0.5 a 10
Calizas. dolomías NO carstificadas	0.1 a 25	0.1 a 5
Calizas. dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin	0.01 a 1	0.0005
Rocas ígneas y metamórficas	1 a 10	0,00005 a

Fuente: Sanders L. "manual of hydrogeology"

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Delimitación General del Área de Estudio

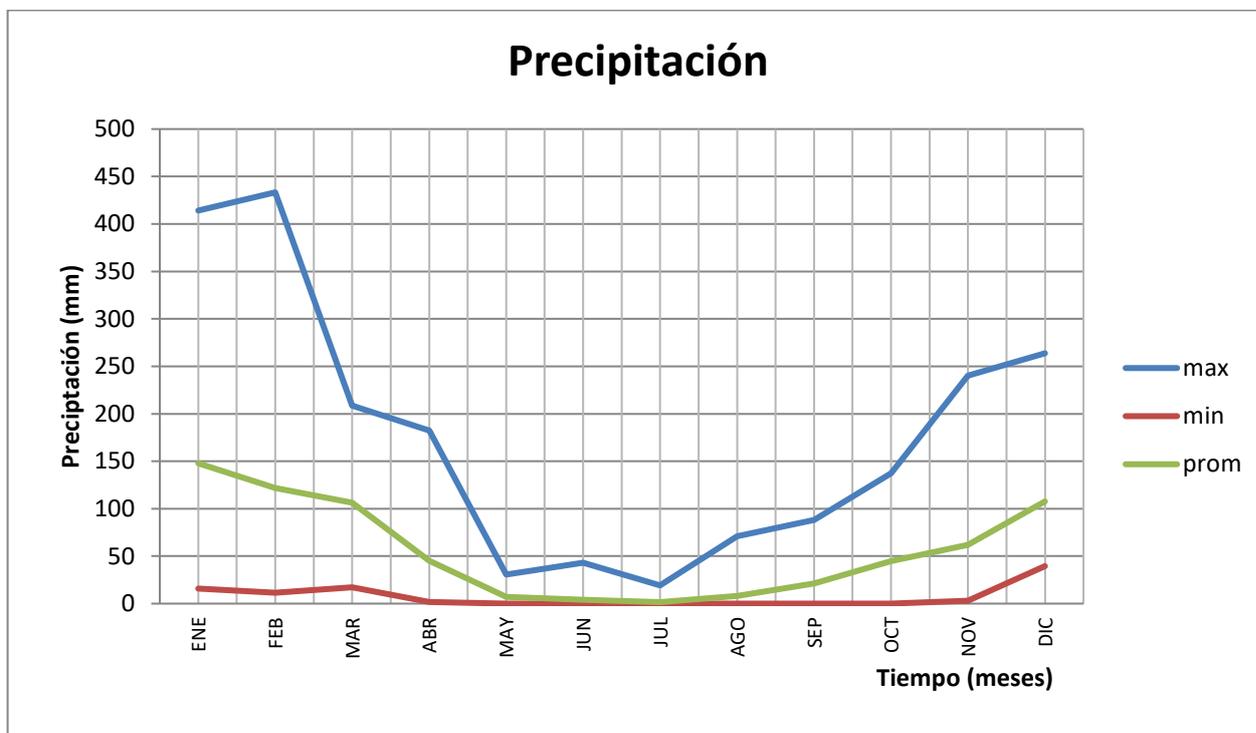
El área de la Microcuenca Central Huayta es 2269.26 hectáreas y el perímetro es 19797.83 m. estos datos han sido calculados con la ayuda del Sistema de Información Geográfica.

4.2. Estudio Hidrológico

4.2.1. Precipitación Anual

- En los años de 1963- 2010, la precipitación anual promedio es de 56.43 mm., en el mes de mayor intensidad de lluvia es los meses de enero que llega a los 147.84 mm., a partir del mes de abril las precipitaciones disminuyen llegando a sus niveles más bajos en los meses de Junio y Julio que llega a 0 mm., el 90 % de las precipitaciones que ocurre en la zona son en los meses de setiembre a abril, como se puede ver en el siguiente gráfico.
- Desde el año 2000 - 2010 hay un descenso significativo en la precipitación, en donde se registro la mayor baja en el año 2007, que fue en el mes de enero llegando la precipitación de 15.8 mm., en el año siguiente existe un ascenso, y luego desciende para el año 2009 en el mes de enero 24.5 mm.
- En el año 2010 existe un precipitación total de 365.3 mm al año

GRÁFICO N° 4.1 En el siguiente gráfico de muestra las precipitaciones registradas en máximas, mínimas y promedio de la estación de Lampa



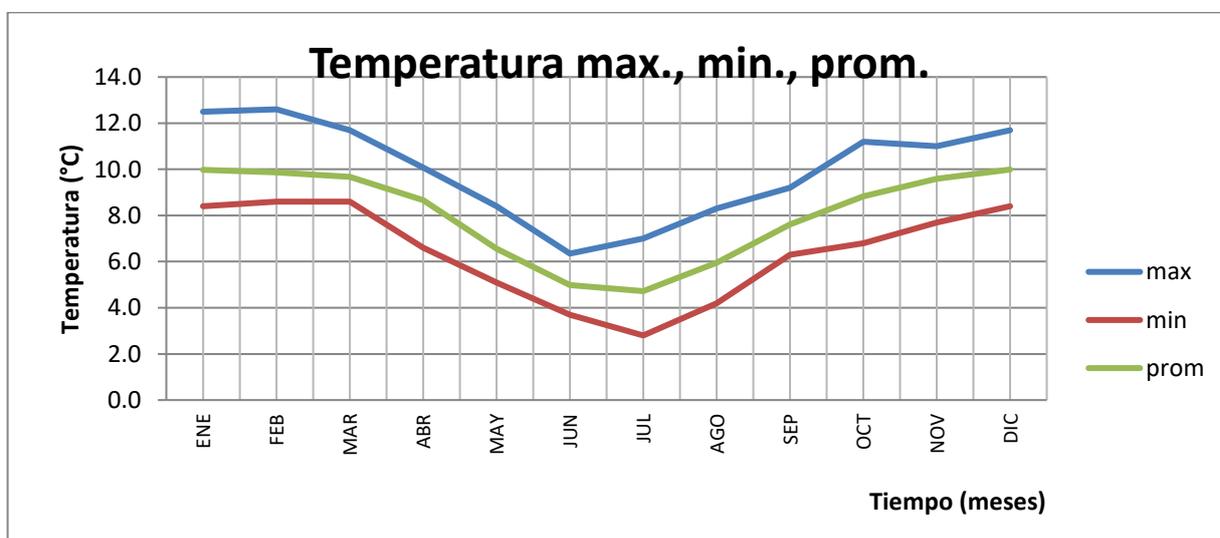
FUENTE: SENAMHI

4.2.2. Temperatura

- La temperatura promedio media mensual es de 8.00 °C de un registro de 1964-2010, donde las temperaturas máximas se registran en los meses de Octubre -Abril que oscilan desde 10.1-11.2 °C respectivamente, y las temperaturas mínimas medias mensuales se registran en los meses de Mayo- Setiembre que oscilan desde 8.4- 9.2 °C respectivamente.

- La temperatura promedio media mensual para el año hidrológico es 2010 es de 8.7 °C y la temperatura media mensual máxima es 11.0 °C en el mes de febrero, y la temperatura media mensual mínima es de 4.7 ° C en el mes de Julio.
- Haciendo un análisis más detallado y haciendo una comparación de temperaturas en los años de 1964-1999 y 2000-2010 hay una diferencia de 0.3 °C, que en los últimos años la temperatura va aumentando, por consecuencia del calentamiento global como se puede ver en el siguiente gráfico.

GRÁFICO N° 4.2 En el siguiente gráfico de muestra la temperatura registradas en máximas, mínimas y promedio de la estación de Lampa

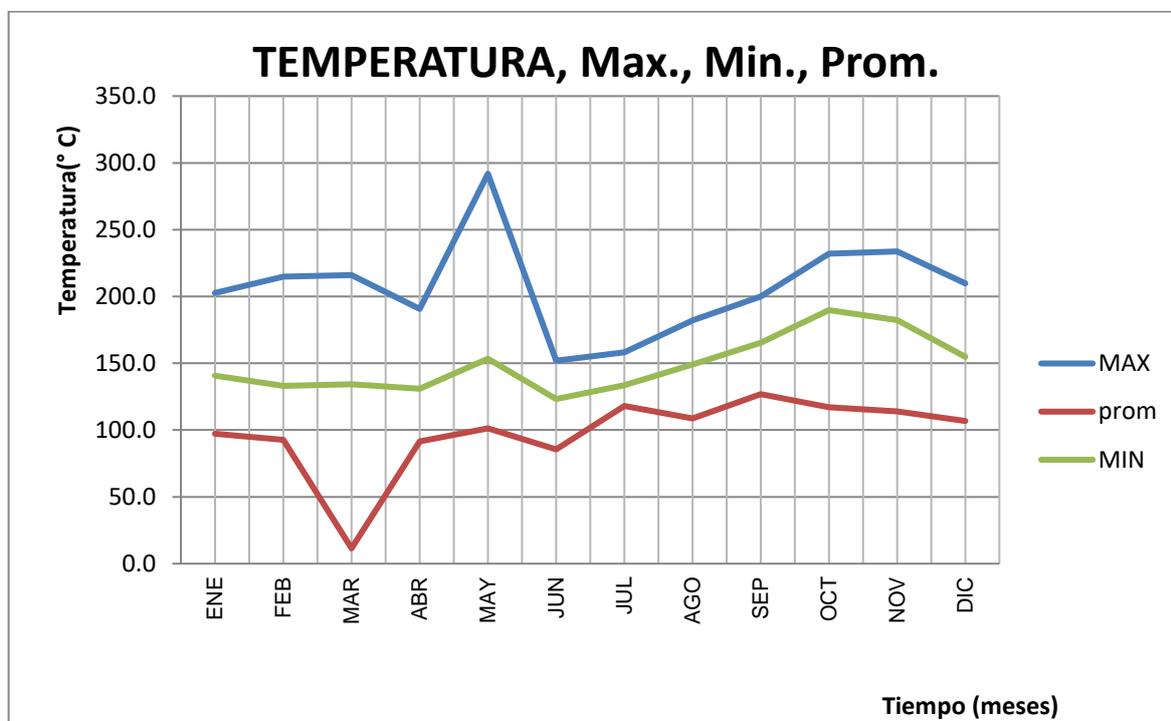


FUENTE: SENAMHI

4.2.3. Evaporación

- La evaporación media mensual es de desde el año 1965-2010 es de 279.9 mm.
- La evaporación máxima en el último año es 429.04 mm que es en el mes de abril y la evaporación media mínima es 137.14 mm en el mes de mayo.
- La evaporación promedio en el año 2010 es de 201.29 mm y la evaporación total en este año es de 2415.49 mm.

GRÁFICO N° 4.3 En el siguiente gráfico de muestra la temperatura registradas en máximas, mínimas y promedio de la estación de Lampa



FUENTE: SENAMHI

4.2.4. Evapotranspiración Potencial

- Se aplicó la fórmula de HARGREAVES modificado que se encontró que la evapotranspiración total es de 599.5 mm/añal.
- Se encontró donde mayor evapotranspiración es en el mes de enero que llega al 68.4 mm/mes.

CUADRO No 4.1 evapotranspiración potencial

Evapotranspiración potencial (m/mes) - fórmula de Hargreaves modificado

Nº	Concepto	Und.	Mes												TOTAL
			Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	
1.0	Temperatura media mensual	°C	10.3	10.2	10.0	8.9	6.8	5.2	4.9	6.1	7.9	9.1	9.9	10.3	99.6
2.0	Temperatura Máxima Mensual	°C	12.5	12.6	11.7	10.1	8.4	6.3	7.0	8.3	9.2	11.0	11.0	11.7	120.0
3.0	Temperatura Mínima Mensual	°C	8.4	8.6	8.6	6.6	5.1	3.7	2.8	4.2	6.3	7.7	7.7	8.4	77.2
4.0	Radiación extraterrestre	mm/día	16.9	16.4	15.2	13.5	11.8	10.9	11.3	12.7	14.3	16.7	16.7	16.8	172.2
5.0	TD	°C	4.1	4.0	3.1	3.5	3.3	2.6	4.2	4.1	2.9	3.3	3.3	3.3	42.8
6.0	Días del Mes		31.0	28.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	30.0	30.0	30.0	31.0	365.0
7.0	Evapotranspiración Potencial	mm/día	2.2	2.1	1.7	1.6	1.2	0.9	1.2	1.4	1.4	2.1	1.9	2.0	19.7
8.0	Evapotranspiración Potencial	mm/mes	68.4	59.1	53.0	46.5	37.5	28.0	37.4	43.7	43.7	63.6	57.9	61.1	599.5

Fuente: Elaboración Propia

4.2.5. Balance Hídrico Superficial

Según los resultados obtenidos en el cuadro N° 4.2 observamos que en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. La precipitación es mayor que la evapotranspiración y habiendo en el mes de enero una reserva de agua de 76.46 mm, siguiendo el mes de febrero con 62.83 mm. El agua excedente se va por percolación profunda y escorrentía superficial.

CUADRO N° 4.2 balance hídrico de la estación meteorológica Lampa en el año 2011.

Nombre	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
PRECIPITACION mm	21.28	44.75	61.81	107.76	147.84	121.89	106.19	45.01	7.11	3.92	1.54	8.03	677.13
Evapotranspiración Potencial	43.27	63.57	57.92	61.06	68.39	59.06	53.04	46.54	37.51	28.05	37.40	43.79	599.54
Dif. Entre Preci. - Evapotrans.	- 21.99	- -18.82	- 3.89	- 46.70	- 79.45	- 62.83	- 53.15	- -1.53	- -30.40	- -24.13	- -35.86	- 35.76	- 246.02
Reservas de Aguas Útil	0.00	0.00	3.89	46.70	79.45	62.83	53.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	246.02

Fuente: elaboración Propia

4.2.6. Cuenca Hidrológica

En la Microcuenca Central Huayta tiene un área total de 2269.26 hectáreas, las mismas que producen infiltración profunda en las partes altas y escurrimiento en las partes bajas produciendo una recarga del flujo subterráneo.

a) Factor de escurrimiento. Para toda la Microcuenca el factor de escurrimiento varia relieve, infiltración, cobertura, vegetal, almacenamiento superficial.

• Relieve = 11

• Infiltración = 10

• Cobertura vegetal = 10

• Almacenamiento superficial = 10

$$C = \frac{11 + 10 + 10 + 10}{100} = 0.41$$

b) Volumen de escurrimiento.- para toda la Microcuenca el volumen de escurrimiento es de 246555.099 m³ durante el año 2010.

$$V = 0.0265 * 0.41 * 22692600 = 2831802.76 \text{ m}^3$$

4.3. Características y Geológicas y Geomorfológicas

4.3.1. Características Geológicas

Las características geológicas dentro de la Microcuenca, tiene dos grandes grupos el primero pertenece al grupo Tacaza, que pertenece al sistema terciario de la era cenozoico, esto pertenece a aglomerados volcanoclasticos y lavas, regionalmente es un grupo diverso con rocas volcánicas andesitas teniendo en gran parte hasta el 50% de sedimentos terrestres, las lavas son de alivino y/o augita porfintica y se caracterizan por la presencia de minerales de cobre diseminado, principalmente malaquita, en las juntas, superficies de fracturas y relleno de amígdalas.

Las rocas volcánicas muestran laderas encarpadas con tonos medios y estratificados delgadas, normalmente es muy difícil distinguir lavas de rocas piroclásticas gruesas.

Pueden existir juntas columnares y los fragmentos líticos angulares de los materiales volcánicos pueden constituir hasta un 7% del volumen total, los bloques (fragmentos que exceden de 15mm. De diámetro) son raros. La devitrificación se halla presente en las tobas soldadas y puede manifestarse en la forma de esferulitas o como mosaico félsico de grano fino criptocristalino, que de acuerdo al estudio hecho es un intercrecimiento de feldespato y cristobalina. El segundo grupo pertenece a un depósito aluvial reciente que es de serie medio, que pertenece al sistema terciario de la era

cenozoico, en los valles, depresiones y llanuras, se observan depósitos aluviales, comprenden arcillas y limos, arenas y gravas no consolidados, depositadas por comente de ríos, flujos de agua y comente laminares todas incluyen sedimentos fluviales y coluviales. En los valles principales, los sedimentos coluviales y los depósitos fluviales jóvenes como los más antiguos pueden distinguirse perfectamente, pero en los valles pequeños y de áreas con tierras levantadas, son generalmente indiferenciables. Las llanuras aluviales del altiplano consisten predominante de arenas bien clasificadas derivadas en parte del retrabajamiento de detritos glaciares de morrena y de fluvioglaciares de bloques de grava inconsolidados y de grava de canto que han rellenado muchos valles ver plano.

4.3.2. Características Geomorfológicas

Las características geomorfológicas pertenecen a la SIERRA- altoandina que forman tres grupos, los cuales son. Planicie-altiplanicie, en la parte norte de la Microcuenca, en la parte central presenta colina y montaña-vertiente montañosa y colina moderadamente empinada, y la parte sur es una colina montaña- vertiente montañosa y colina empinada a escarpada ver plano.

4.3.3. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal tiene bofedales, con herbáceas de piso, pegadas al ras del suelo, dominada por juncácea, distichia muscoides, pajonal con césped de puna, que grupa los tipos de asociaciones pajonal de puna mas césped de puna y cultivos agropecuarios, con áreas de cultivos agrícolas mas áreas de con pastizales cultivados y herbáceas de piso ver plano.

4.3.4. Ecología

La ecología en toda la Microcuenca es bosque húmedo montano subtropical y paramo muy húmedo subalpino subtropical ver plano.

4.4. Estudio de Agua Subterránea

4.4.1. Geología del Acuífero

En el presente estudio, toda el acuífero está constituido predominante de material aluvial terciario, que están constituidos por materiales que fueron productos de la erosión y transportados por el agua.

4.4.2. Clave para Identificar los Pozos

Para la identificación de los pozos monitoreados se ha usado la siguiente simbología.

ASCH 001

A: Agua

S: Subterránea

C: Central

H: Huayta

001: Numero de pozo

4.4.3. Tipo de Pozos

Todos Pozos monitoreados en la zona son pozos a tajo abierto.

4.4.4. Estado de los Pozos

Durante el monitoreo de los pozos la mayoría de los pozos se encontraba funcionando (operativos), siendo sus aguas utilizadas en la agricultura, uso

domestico y pecuario de los cuales 113 pozos son utilizados, 25 pozos son utilizables 2 pozos no utilizables porque están ya secos.

4.4.5. Uso de los Pozos

En el área de estudio se ha inventariado 136 pozos, 100 pozos de uso domestico y pecuario, 36 son de uso pecuario y ningún pozo de uso industrial.

4.4.6. Rendimiento de los pozos

Los máximos rendimientos de pozos de tajo abierto son los ASCH-101 con 401.5 m³/año y ASCH-22 con 394.20 m³/año. Y el mínimo rendimiento es ASCH-107 es de 10.22 m³/año

4.4.7. Explotación de los Acuíferos Mediante Pozos

En el presente estudio, el volumen total explotado es de 10729.13 m³/año (0.01 MMC) en toda la Microcuenca que equivale a un caudal continuo de explotación de 0.00034 m³/s

En relación al uso de las aguas subterráneas explotadas es principalmente al consumo domestico con 9538.1966 m³/ año, que equivale al 88.9 %, el consumo para uso agrícola es el 278.95738 m³/año que equivale el 2.6 % y para uso pecuario es 911.97605 m³/año que equivale el 8.5 %.

CUADRO No 4.3 Volumen de explotación de aguas subterráneas según uso en la Microcuenca Central Huayta

MICROCUEENCA	EXPLORACION POR USO (M3/AÑO)				
	DOMESTICO	AGRICOLA	PECUARIO	INDUSTRIAL	TOTAL
Central Huayta	9538.2	278.9	911.9	0	10729
Total	9538.2	278.9	911.9	0	10729

Fuente: Elaboración propia

4.4.8. Características Técnicas de los Pozos

La profundidad de los pozos en toda la extensión del valle es variable, dependiendo básicamente de su tipo, en el área de estudio, las profundidades máximas y mínimas de los pozos varía desde 8.16 a 0.9 metros.

El diámetro de los pozos es variable a tajo abierto donde el máximo y el mínimo es 2.6 y 0.5 m. respectivamente

CUADRO No 4.4 Profundidades actuales máximas y mínimas según el pozo

MICROCUEENCA	Tajo Abierto	
	máximo	mínimo
CENTRAL	8.16	0.9
Total	8.16	0.9

Fuente: Elaboración Propia

4.5. Evaluación de la Napa Subterránea

La evaluación del rendimiento hidráulico, lo más usual es obtener información acerca del comportamiento y eficiencia del pozo mientras estas sean bombeadas, las pruebas de bombeo constituyen una prueba empírica.

4.5.1. Pruebas de Bombeo

Se realizaron pruebas de bombeo en los pozos en el mes de noviembre.

A partir de estos datos obtenidos de los caudales bombeados tienen grandes variaciones en el caudal, esto se debe a la impermeabilidad del suelo, se realizo en tres pozos

CUADRO N° 4.5 Características de las pruebas hidrodinámicas realizadas.

Pruebas de bombeo

N°	POZO	Q l/seg.	DISTANCIA m	TIEMPO min.	DESCENS O m.	TRANSMISIVID AD m ² /día	COEFICIENTE DE ALMACENAMIEN TO
1	ASCH 11	3.00	20	28	0.68	30.33	0.0059
2	ASCH 41	3.00	20	13	1.05	19.64	0.0018
3	ASCH 118	3.00	20	32	0.28	73.67	0.0164

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 4.6 Resultados De Conductividad Hidráulica

POZO	r Radio del Pozo (cm)	H. Prof. Antes de Bombeo (cm)	DESCENSO c m.	h. altura promedio de la carga hidráulica (cm)	C. constante de permeabilidad (K)	Δh . Variación de altura (cm)	Δt tiempo de recuperación Seg.	k (m/día)
ASCH 11	105	496	115	305.5	67.46	381	550	46.73
ASCH 41	70	158	105	131.5	148.77	53	500	15.77
ASCH 118	75	490	118	304	43.26	372	550	29.26

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Parámetros Hidráulicos

El acuífero ha sido evaluado por su capacidad de almacenamiento y la aptitud para transmitir agua. En toda la Microcuenca se ha realizado tres pruebas de bombeo cuyo resultado se muestra en la siguiente tabla.

Cuadro N° 4.7 Resultados de las pruebas de bombeo

Pozo	K (m/día)	Transmisibilidad (m ² / día)	Coficiente de almacenamiento
ASCH 11	46.73	30.33	5.9 X 10-3
ASCH 41	15.77	19.64	1.8 X 10-3
ASCH 118	29.26	73.67	1.6 X 10-2

Fuente: Elaboración Propia

El análisis de los parámetros hidráulicos (T, K, s) cuyas tablas se muestran en la tabla anterior, indican que el acuífero en esta zona es libre y presenta regulares condiciones hidráulicas.

4.5.3. Radio de Influencia

Los abatimientos de la napa fluctúan entre 569.21 m. esto cabe señalar que hay influencia entre pozos. Ver tabla

Cuadro N° 4.8 Radio de Influencia de los pozos ASCH 11, ASCH 41 Y ASCH 118, elaborado en el mes de febrero 2012

POZO	TRANSMISIVIDAD (m ² /s)	TIEMPO DE BOMBEO Seg.	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	RADIO DE INFLUENCIA m.
ASCH 11	30.33	28	0.0059	569.21
ASCH 41	19.64	13	0.0018	569.21
ASCH 118	73.67	32	0.0164	569.21

Fuente: Elaboración Propia

4.6. Hidrogeoquímica

4.6.1. Recolección de Muestras de Agua Subterránea

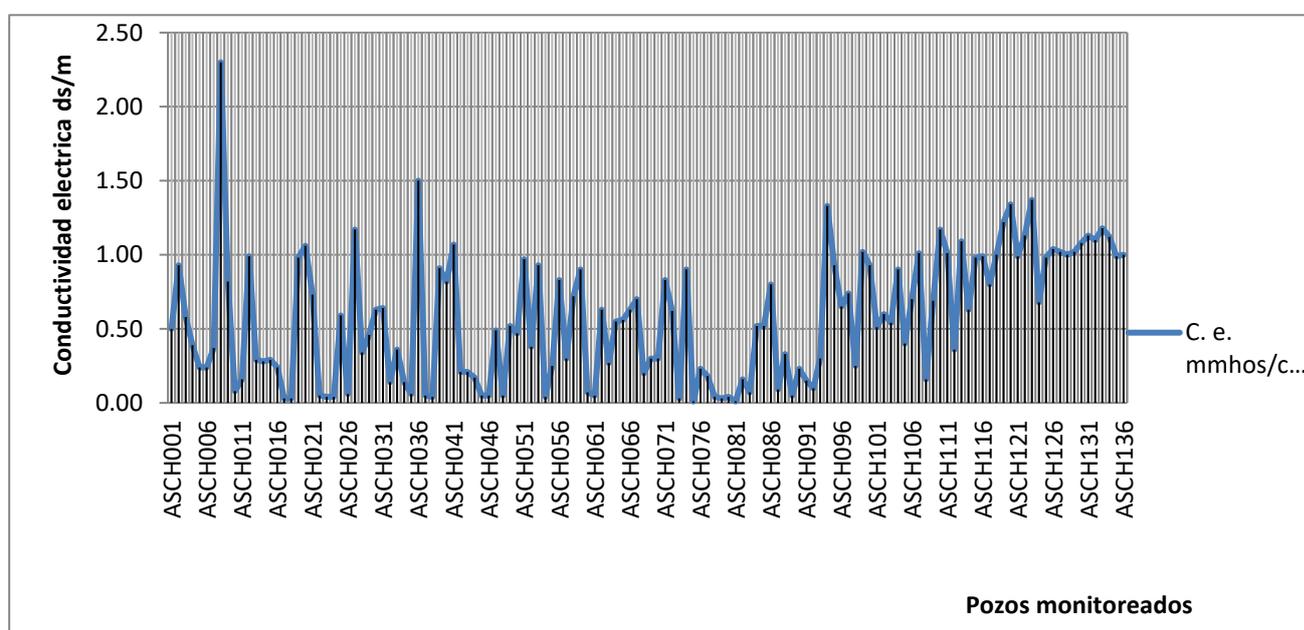
En la Microcuenca Central Huayta se hizo un monitoreo de 36 pozos en forma simultánea los cuales se determinó "in situ", la conductividad eléctrica, y otros se determinó de acuerdo al red piezométrico, el pH, e la cantidad de sólidos disueltos, donde se recogió una muestra para llevarlo al laboratorio .

4.6.2. Resultados de Análisis Físico- Químico

4.6.2.1. Conductividad Eléctrica del Agua

En toda la Microcuenca la CE fluctúa entre: 0.01 -2.30 ds/m y el promedio es de 0.57 ds/cm, valor que representa a aguas de mediana a alta mineralización.

Gráfico N° 4.4 tabla de valores de C.E. de la Microcuenca Central Huayta datos tomados en campo.

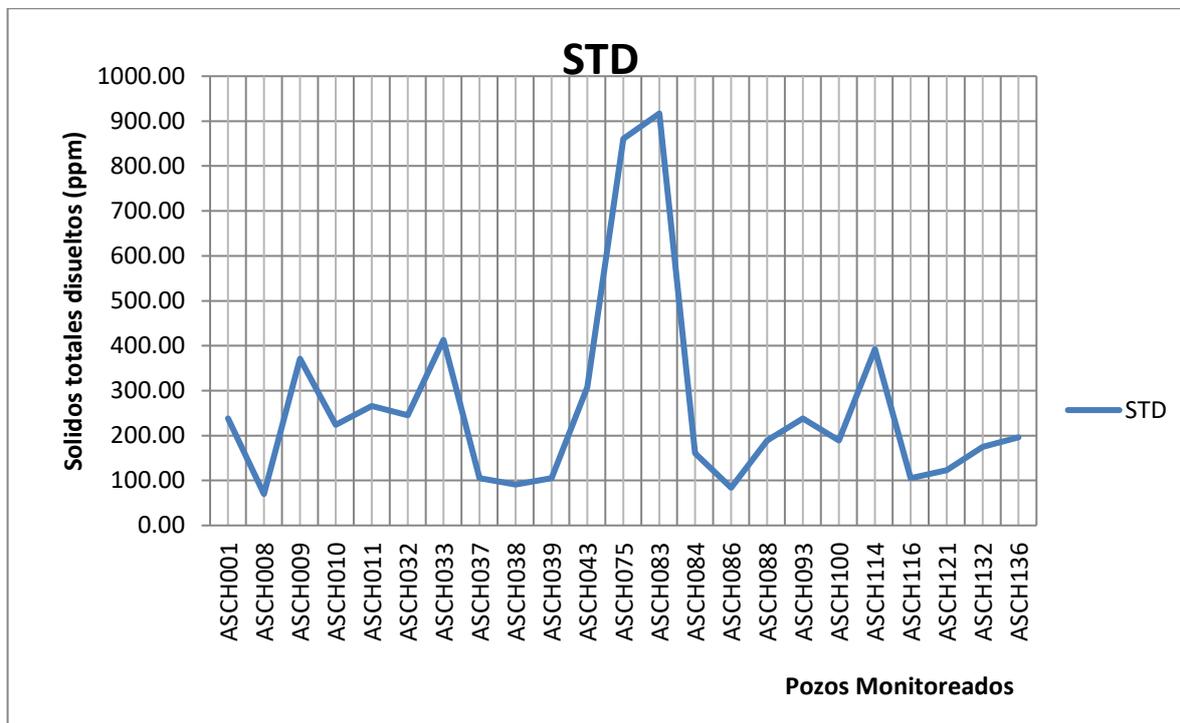


Fuente: Elaboración Propia

4.6.2.2. Dureza Total y PH

La medida de de contenido de calcio y magnesio, en la Microcuenca Central Huayta los valores fluctúa entre 70-917 ppm de CaCO₃, valores que representan a aguas de blanda a aguas duras.

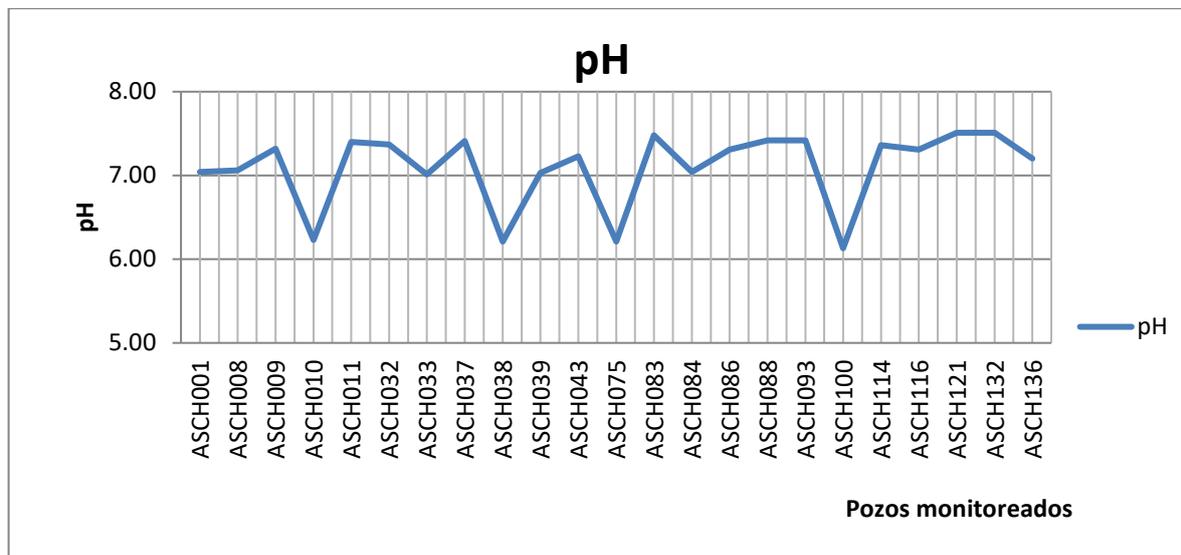
Gráfico No 4.5 variación de dureza en la Microcuenca STD



Fuente: Elaboración Propia

La concentración de iones de hidrogeno en la Microcuenca Central Huayta, el pH fluctúa entre 6.13 - 7.51; valores que representa a aguas de ligeramente acida aligeramente alcalina.

Gráfico No 4.6 variación de pH en la Microcuenca



Fuente: Elaboración propia

4.6.3. Representación Grafica

4.6.3.1. Diagrama de Schoeller

En la interpretación de los análisis físicos químicos, de cada elemento está representado por mg/l y en el diagrama de Schoeller está representado cada elemento con meq/l. tal como se muestra en el anexo.

4.6.4. Aptitud de las Aguas para Riego

4.6.4.1. Clases de agua Según Conductividad Eléctrica

El resultado de laboratorio es la siguiente:

Cuadro No 4.9 análisis físico químico de agua de la Microcuenca
Central Huayta ASCH 063

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS	
ASPECTO:	Líquido
COLOR:	Incoloro
OLOR:	Inodoro
SABOR:	Insípido
CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS	
pH:	7.5
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	
Dureza total como CaCO _a	677.16 mg/l
Alcalinidad como CaCO _a	292.60 mg/l
Cloruros como Cl	208.36 mg/l
Sulfates como S ₀₄ [°]	200.00 mg/l
Nitratos como NO _a	negativo mg/l
Calcio como Ca [^]	169.40 mg/l
Magnesio como Mg ⁺⁺	61.12 mg/l
SOLIDOS TOTALES	76.10 mg/l

Fuente: laboratorio FIQ- UNAP

Según la OMS el agua analizada no se encuentra dentro de los límites establecidos; por lo tanto no es apto para consumo humano

4.6.4.2. Clases de Agua según el RAS y la Conductividad Eléctrica

La aptitud de aguas para riego de acuerdo a los valores de la conductividad eléctrica está entre 0.14 -1.10 ds/m, según el cuadro de Wilcox, está dentro de excelente y permisible respectivamente. El permisible sería el ASCH132 y la excelente sería el ASCH009 con 0.14 ds/m.

4.6.5. Potabilidad de las Aguas

Según el análisis realizado en 09/05/2012 del ASCH 63 de la Microcuenca Central Huayta, tiene un pH de 7.5 que si esta dentro de los límites establecidos por la OMS, el Ca⁺ es de 169.40 mg/l que no está dentro de los límites establecidos por la OMS, Mg ++ es de 61.12 mg/l esta dentro de los límites establecidos por la OMS, Cl es de 208.36 mg/l que está dentro de los límites establecidos por la OMS, S04⁻ 200.00 mg/l que si esta dentro de los límites establecidos por la OMS.

4.7. Estudio Hidrogeológico

4.7.1. Prospección Geofísica

En el presente estudio se ha aplicado la metodología de Sondaje Eléctrico Vertical, que es una técnica científica de exploración indirecta de aguas subterráneas sobre las características físicas y geomorfológicos del subsuelo está basada en el análisis e interpretación, en este caso, de las propiedades eléctricas de la tierra (conductividad) por medio de medidas instrumentadas tomadas desde la superficie de terreno, cuya distribución espacial presentan variaciones en cada tipo litológico de materiales y rocas componentes los cuales pueden ser identificadas por diferenciación de sus parámetros típicos bajo el subsuelo y finalmente su correlación geológica en los fines de estudio.

Específicamente en estudio por aguas subterráneas se emplea con mejores resultados aplicativos este método indirecto por su bajo costo y fácil de operar en campo.

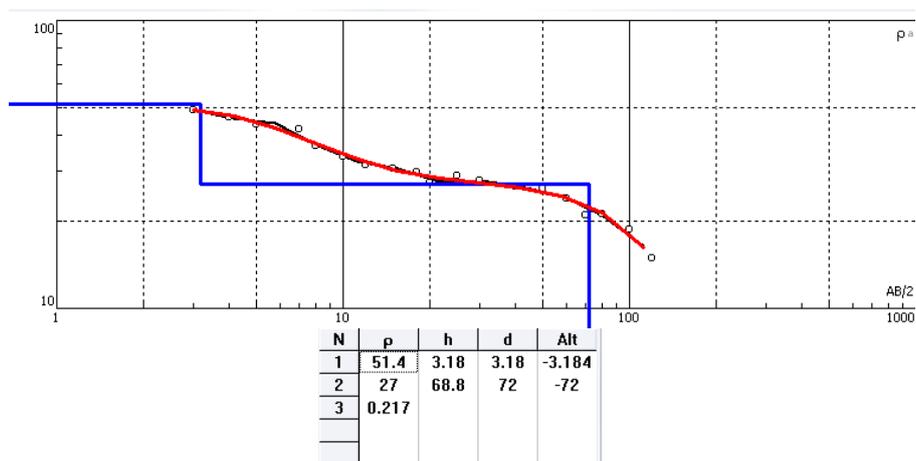
4.7.1.1. Sondeo Eléctrico Vertical

El abordaje para el levantamiento de trabajos de campo se inició previo reconocimiento de terreno precediéndose a ejecutar los SEVs en lugares seleccionados con anterioridad planificación de mejor visión para el estudio y que son áreas con factibilidad de espacio topográfico para ejecutar los mismos y permitir una buena obtención de toma de datos del subsuelo a través de equipo instrumental geofísico.

Se ejecutaron un total de 03 SEV en áreas como son: SEV1 en las coordenadas UTM WGS84 (en las coordenadas UTM WGS84 (351393, 8299492, 3873), SEV 2 en las coordenadas UTM WGS84 (349721, 8299197, 3875) y SEV 3 en las coordenadas UTM WGS84 (347163, 8298774, 3920).

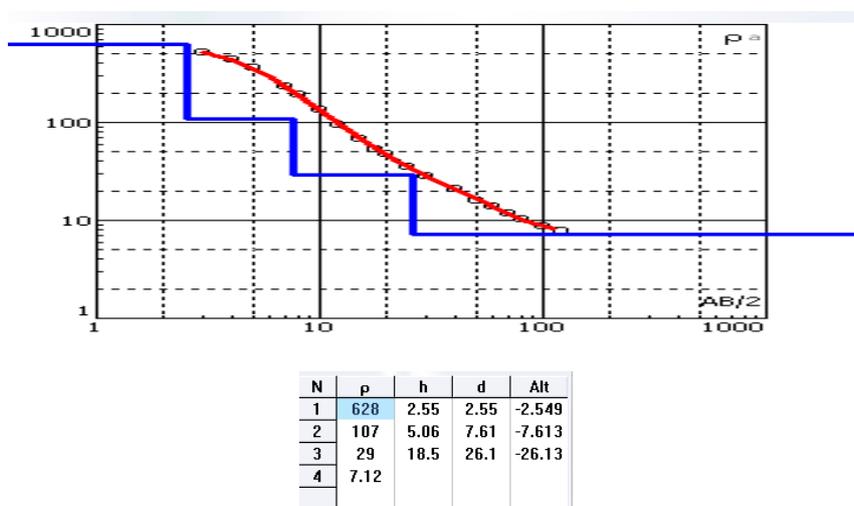
Los datos recogidos en campo se procesaron con el programa IPI2win mostrándose el siguiente resultado.

Figura N° 4.1 Primer SEV



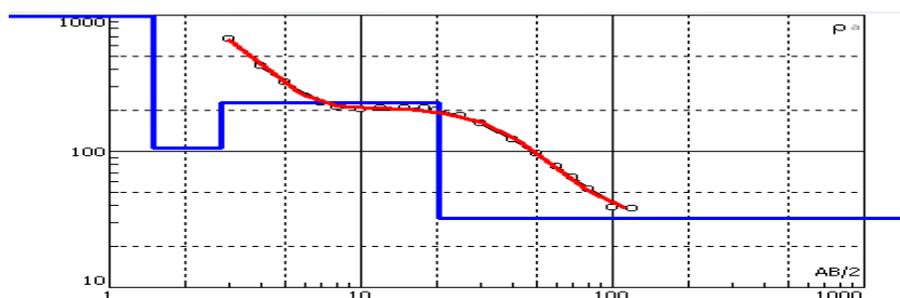
En el primer grafico se puede apreciar los puntos tomados en campo, las líneas rojas indican los ajustes que realiza IPI2Win, las líneas azules indican la altura del estrato del terreno, el cuadro inferior indica el tipo de estrato que es p y la altura del estrato es h.

Figura N° 4.2 Segundo SEV



En el primer grafico se puede apreciar los puntos tomados en campo, las líneas rojas indican los ajustes que realiza IPI2Win, las líneas azules indican la altura del estrato del terreno, el cuadro inferior indica el tipo de estrato que es p y la altura del estrato es h.

Figura N° 4.3 Tercer SEV



N	p	h	d	Alt
1	1266	1.5	1.5	-1.5
2	105	1.26	2.76	-2.76
3	228	17.6	20.4	-20.36
4	32.4			

En el primer grafico se puede apreciar los puntos tomados en campo, las líneas rojas indican los ajustes que realiza IPI2Win, las líneas azules indican la altura del estrato del terreno, el cuadro inferior indica el tipo de estrato que es p y la altura del estrato es h.

4.8. El Reservoirio del Acuífero

4.8.1. Geometría del Acuífero

4.8.1.1. Forma

Toda la Microcuenca tiene una forma rectangular, todos los lados de la Microcuenca.

4.8.1.2. Dimensiones

El acuífero en la primera capa varia de 3.16 , 1.5, 2.55 m, a lo largo de 4 km que está constituido por depósitos clásticos superficiales, arenas y finos orgánicos, en la segunda capa existe una distancia promedio de en SEV 2 y SEV 3 una ditantdal.26, 5.07 m respectivamente, que está constituido por depósitos clásticos gravas , arenas y limos, en la tercera capa existe un promedio de SEV1, SEV2 y SEV3 una distancia de 68, 18.5, 17.6 m., que está constituido por depósitos clásticos rodados, gravas y conglomerados, y la cuarta capa existe un promedio de SEV1, SEV2 y SEV3 una distancia no calculada, que nos indica no existe un acuífero

confinado que sigue siendo libre, que está compuesto por depósitos clásticos arenas, gravas y limos.

4.8.2. El Medio Poroso

4.8.2.1. Litología

Basándose en los resultados de los estudios geológico y geomorfológico y geofísica, así como el análisis de perfiles litológicos de algunos pozos y observaciones "in situ" , se ha observado que el acuífero está constituido por dos tipos de de materiales gravas, arena y limo.

4.8.3. Napa Freática

4.8.3.1. Morfología del Techo de la Napa

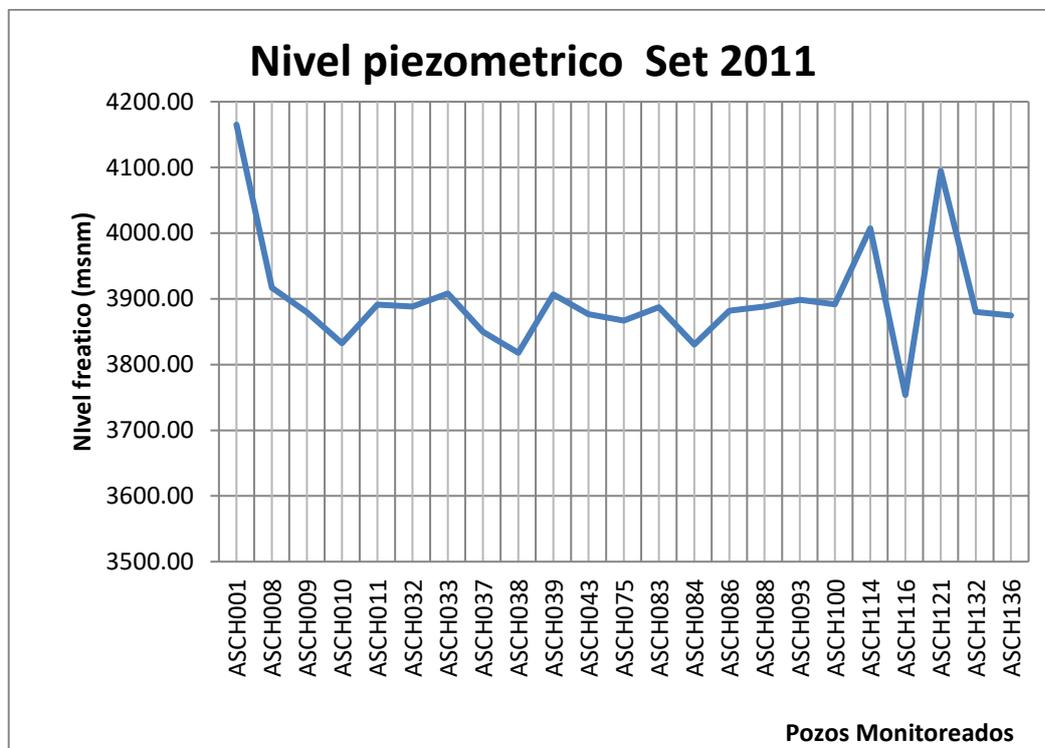
Con la finalidad de estudiar la morfología de la superficie piezométrico, determinar la dinámica de la napa y estudiar las variaciones de los niveles, se conformo de la red piezométrico, para lo cual se selecciono pozos como piezómetro, los cuales están distribuidos uniformemente en toda el área de estudio, tal como se muestra en el plano No 11 adjunto.

Los pozos monitoreados en el mes de setiembre tiene una gradiente hidráulica de 4 % y en el mes de abril se realizo otro monitoreo y tiene una gradiente hidráulica de 4.2 %.

4.8.3.2. Profundidad del Techo de la Napa

En la Microcuenca Central Huayta el nivel piezométrico fluctúa entre 3753.67 y 4165.10 msnm y tiene una altura promedio en la zona 3899.50.

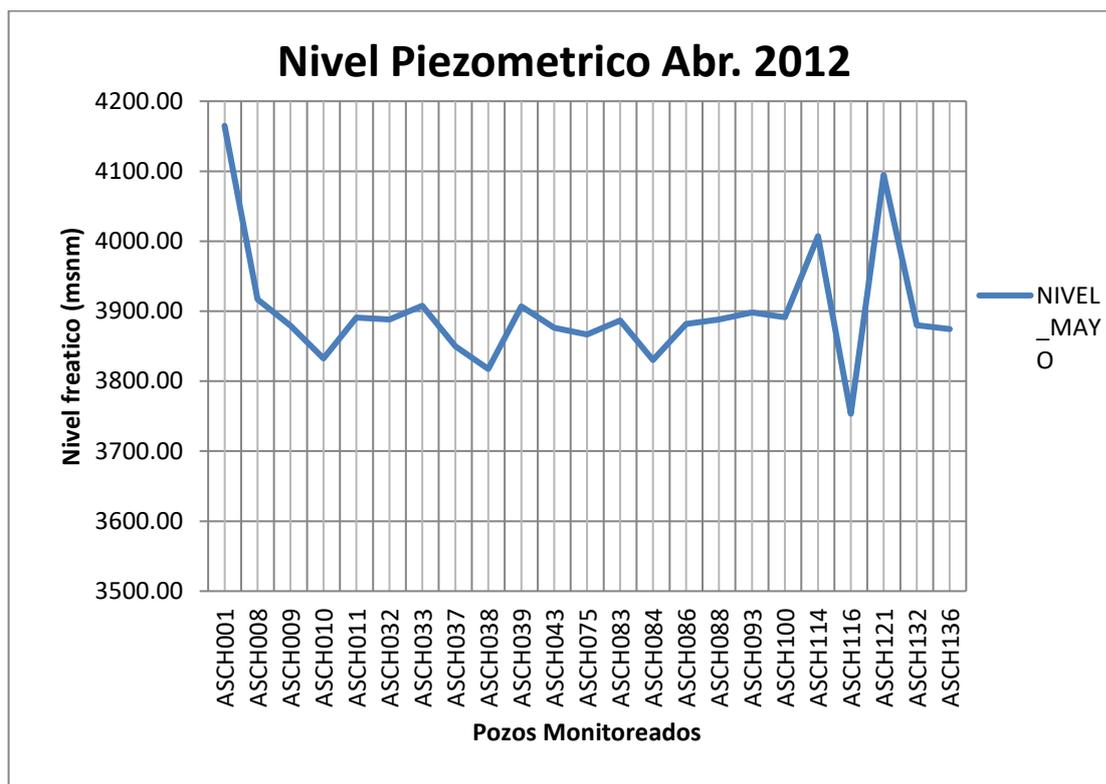
Gráfico No 4.7 niveles de variación de agua en el mes de setiembre del 2011



Fuente: Elaboración Propia

Los niveles fluctúan en el mes de abril del 2012 entre 3753.47 y 4164.89.

Gráfico No 4.8 niveles de freático de agua en el micro cuenca Central Huayta en el mes de abril del 2012



Fuente: Elaboración Propia

4.9. Características Hidrogeológicas del Subsuelo

4.9.1. Sección del Subsuelo

En el suelo de la Microcuenca Central Huayta, presentan resistividades mayores a 10 ohms-m en este tipo de suelo se puede encontrar intervalos contenidos agua de calidad marginal y aceptable, en las secciones geoelectricas mayores de 10 ohms-m, estos se presentan a lo largo de las secciones. Debe agregarse que las resistividades eléctricas del acuífero saturado presentan horizontes con mediana a alta mineralización o salinidad de acuerdo a la resistividad eléctrica.

4.9.2. Áreas y Profundidades de los Horizontes Permeables y Explotables

En el análisis de las secciones geoelectricas e individualmente los SEV han permitido ubicar las áreas y profundidades aproximadas de los horizontes permeables factibles a ser explotados, según plano N° 11, en la Microcuenca Central Huayta se presenta áreas explotables desde los 3.35 m hasta los 70 y 30 m tanto en SEV 1 y SEV 3 respectivamente.

4.10. Calculo de las Reservas Totales del Acuífero

4.10.1. Geología del Área

Según los SEVs realizados en la Microcuenca se identifica tres capas en el primer SEV se puede observar en la primera capa depósitos clásticos superficiales, arenas y finos orgánicos, en la segunda capa depósitos clásticos rodados, gravas y conglomerados, y tiene un espesor aproximado 71.16 m de profundidad en el segundo SEV se puede observar en la primera capa depósitos clásticos superficiales, arenas finos orgánicos, en la segunda capa se observa depósitos clásticos gravas, arenas y limos, en la tercera capa depósitos clásticos rodados, gravas y conglomerados y tiene un espesor aproximado de 23.57 m y en el tercer SEV se puede observar en la primera capa depósitos clásticos superficiales, arenas finos orgánicos, en la segunda capa se observa depósitos clásticos gravas, arenas y limos, en la tercera capa depósitos clásticos rodados, gravas y conglomerados y tiene un espesor aproximado de 20.36 m y tiene una altura promedio de 35.03 m de profundidad.

4.10.2. Estimación de la Precipitación Total

Según el perfil litológico del suelo la cantidad de agua en la Microcuenca Central Huayta calculamos con la formula de balance hídrico. F

Formula 5.1 balance hídrico

Volumen de precipitación anual = volumen medio anual escurrido + volumen media anual escurrido + infiltración

Superficie= 22690000 m²

Precipitación media anual= 30.44 mm

Volumen escurrido = 2831802 m³

Volumen medio anual evapotranspirado = 0.0499 m.

Calculo Volumen de precipitación

Formula 5.2 cálculo del volumen de precipitación

$V_p = \text{Precipitación media anual} * \text{área}$

$V_p = 0.3044 \text{ m} * 22690000 \text{ m}^2$

$V_p = 6906836 \text{ m}^3$

Remplazando en la formula

$6906836 = 2831802.76 + 0.0499 + 1$

Infiltración = 4075033.19 m³ este cálculo es para el año 2010

Obteniendo la infiltración calculamos la explotación del acuífero anual

Formula 5.3 cálculo de la cantidad de agua en el acuífero

Agua total en el acuífero = infiltración- agua total explotada en el acuífero

Agua total en el acuífero = 4075033.19 m³ - 10729.13 m³ Agua total en el

acuífero = 4064304.06 M³ al año existe en el acuífero.

4.10.3. Cálculo de la Reserva Total de Agua en el Acuífero

Cálculo del volumen total del acuífero $\text{Volumen total} = \text{Espesor del acuífero}$

* área de la Microcuenca

$\text{VOL total} = 0.0392 \text{ Km} * 2269 \text{ km}^2$

$\text{Vol total} = 88.9448 \text{ km}^3$

Calculando la porosidad eficaz podemos calcular el volumen de agua gravitica en este caso será:

Según los SEVs realizados existen diferentes capas de terreno lo cual según Sanders la porosidad eficaz de cada uno de ellos será según plano de secciones geoelectricas.

$E_0 = 5.3\%$

$E_1 = 11\%$

$E_2 = 18.5\%$

Sacando un promedio de toda la porosidad eficaz en la Microcuenca es de 9.9 % en donde podemos calcular el volumen total de la porosidad que también vendrá a ser el volumen total de agua que existe en el acuífero:

88.9448 Km^3 el 9.9 % vendría a ser el 8.8055352 Km^3 que es el **8805.5352 m^3 de agua almacenada en la Microcuenca**

Teniendo el volumen de agua podremos calcular el volumen total de descarga del acuífero

Formula N° 3.11 Volumen total de descarga del acuífero

$\text{Volumen de descarga} = \text{Infiltración} - \text{Valm.} - \text{volumen explotado}$

$\text{Vol} = 4075033.19 \text{ m}^3 - 8805.5352 \text{ m}^3 - 10729.13 \text{ m}^3$

$\text{Vol} = 4055498.525 \text{ m}^3$

5. CONCLUSIONES

1. El volumen total de agua en la Microcuenca es de 8805.5352 m³.
 - 1.1. El volumen de infiltración de la Microcuenca es de 6568400.99 m³ y el consumo es de 10729.13 m³ y el volumen total infiltrado en el acuífero es 4064304.06 M³ anual, y el volumen escurrido por la Microcuenca es de 4055498.525 m³ al año
 - 1.2. El acuífero está constituido por 4 capas claramente visibles que son, depósitos clásticos superficiales, arenas y finos orgánicos, depósitos clásticos gravas arenas y limos. Depósitos clásticos rodados, gravas y conglomerados. Depósitos clásticos arenas, gravas y limos, respectivamente.
 - 1.3. Según los análisis físicos químicos el Acuífero no es apto para el consumo pero si es apto para uso agrícola.

6. RECOMENDACIONES

- Debe efectuarse monitoreo de las aguas subterráneas en el acuífero cuantitativamente y cualitativamente y realizar un control piezométrico utilizando los mismo pozos como una red piezométrico.
- Las aguas como consumo domestico y poblacional debe ser tratada antes de ser consumidos.
- Realizar análisis de la conductividad eléctrica, pH, Cantidad de sólidos disueltos periódicamente.
- Realizar más SEVs, para determinar la verdadera potencialidad del agua subterránea, no solo en la Microcuenca sino también toda la Provincia de Lampa y la Región de Puno.

7. BIBLIOGRAFIA

1. ALIAGA VITO, 1985, "Hidrología estadística", edit. Mcafem, Lima-Perú.
2. BERRY J. K-, 1986, "learning computer assisted map analysis in geographic information systems", Vol. III USA.
3. BLAIR F., 1957, "manual de riesgos y avenamientos", edit. Ariel, Lima - Perú IICA-OEA-zona andina.
4. CHOWVEN TE, 1994, "Hidrología aplicada", Me. Graw Hill, Bogotá.
5. CHUVIECO E., 1992, "II curso avanzado sobre sistemas de información geográfica", Santiago de chile- chile.
6. LOHMAN s., 1977, "hidráulica subterránea", edit. Ariel, Barcelona.
7. MOLINA G.M, 1975, "Hidrología", publidrat - vnal, Lima-Perú.
8. SÁNCHEZ JAVIER, 2001, "el ciclo hidrológico subterráneo", Separata, pág. 4.
9. SANTAYANA VELA SEBASTIAN, 2000, "aguas subterráneas", Puno.
10. SANDERS, L, 1998 "A manual of hidrogeology", Edit. Prentice- Hall, EE. UU. Pag. 381.
11. VELAZCO ALARCÓN, 1997, "Estudio de las Sequías en el Departamento de Puno", Lima: Senamhi, 150 p.
12. VILLON BEJAR MÁXIMO, 2002, "hidrología", Villon, Lima -Perú, pág. 144.
13. VIRENDEL, 1994 "abastecimiento de agua y alcantarillado", edit. San marcos, Lima - Perú.

8. ANEXOS

Anexo 01

EVAPORACION TOTAL MENSUAL (mm.) - REGISTRO HISTORICO

ESTACION: LAMPA LATITUD 15°21'40.17" DEPARTAMENTO PUNO
 LONGITUD 70°22'27.12" PROVINCIA LAMPA
 ALTITUD 3892 DISTRITO LAMPA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1965	202.6	121.0	121.6	124.5	140.2	115.1	131.2	150.1	172.2	229.3	215.3	155.7	1878.80
1966	201.6	122.2	144.5	170.3	127.5	131.5	134.5	182.0	197.8	179.9	173.0	164.9	3129.70
1967	185.5	130.9	111.8	135.6	121.3	131.0	126.9	148.1	150.5	183.9	232.3	165.1	1822.90
1968	140.5	121.6	123.5	142.9	123.4	115.5	129.5	166.3	166.4	191.8	133.2	164.4	1719.00
1969	133.4	134.5	143.1	134.6	114.5	124.2	122.6	160.0	178.7	215.9	213.5	189.4	1864.40
1970	127.9	132.7	119.7	124.3	123.5	130.5	134.5	163.1	175.6	209.7	229.4	153.4	1824.30
1971	132.0	97.9	133.8	143.3	138.0	118.6	126.0	153.0	200.0	205.5	186.4	139.3	1773.80
1972	117.3	131.7	11.5	130.2	132.5	116.0	135.5	160.0	164.0	206.3	193.5	165.7	1664.20
1973	125.8	128.7	126.4	97.2	117.0	119.0	118.0	144.1	142.5	186.2	181.9	179.0	1665.80
1974	112.5	111.0	129.7	116.5	134.8	119.4	123.6	108.8	157.6	200.3	211.7	175.3	1701.20
1975	135.9	107.9	114.7	131.0	116.6	113.0	122.0	153.5	173.6	194.0	206.3	144.4	1712.90
1976	125.5	126.3	123.3	137.1	128.5	112.5	128.8	147.5	159.7	226.0	207.0	184.1	1806.30
1977	159.3	120.0	111.9	145.0	141.9	118.5	128.5	165.5	163.9	187.4	153.5	167.7	1763.10
1978	113.9	133.6	139.1	118.6	146.0	120.5	118.8	153.7	169.6	202.3	158.3	146.6	1721.00
1979	119.3	140.9	121.8	133.0	139.5	132.5	135.5	153.5	195.0	181.5	181.5	136.5	1770.50
1980	174.6	158.0	109.8	156.2	142.7	123.5	127.8	155.7	160.4	136.1	185.0	198.6	1828.40
1981	132.2	105.4	129.8	123.4	138.6	129.6	143.3	118.9	153.7	188.5	202.4	135.5	1701.30
1982	128.0	133.1	129.0	118.5	143.6	130.6	143.9	146.8	145.8	155.6	144.5	209.9	1610.80
1983	196.3	167.7	189.3	149.4	154.7	123.1	158.2	159.3	157.9	213.3	233.8	188.7	2091.70
1984	121.9	96.0	110.9	132.4	137.8	120.3	131.2	169.7	189.3	154.3	145.6	150.6	1660.00
1985	151.9	99.1	122.2	96.6	101.3	104.9	129.6	146.5	163.1	213.5	144.1	124.2	1500.40
1986	135.5	95.8	106.8	103.4	135.4	137.0	131.9	142.2	161.8	216.5	217.3	149.2	1732.80
1987	104.7	160.6	155.4	162.1	152.0	120.6	134.0	159.7	196.1	206.9	178.6	200.3	1931.00
1988	125.0	166.3	128.4	114.6	131.5	136.5	146.4	175.4	179.3	204.4	216.5	168.1	1892.40
1989	133.0	122.3	99.7	111.7	123.9	109.9	127.2	141.7	193.9	206.9	190.2	207.7	1640.90
1990	138.6	153.3	162.3	145.7	136.8	85.6	147.2	148.9	178.6	167.2	151.9	160.2	1776.30
1991	156.0	118.2	124.8	110.9	137.7	116.8	134.3	146.4	142.1	194.6	167.0	164.1	1712.90
1992	120.9	139.0	183.2	190.8	171.7	129.5	127.7	124.5	185.5	168.0	174.2	196.5	1911.50
1993	118.6	153.0	129.0	116.1	140.8	124.1	133.9	111.8	134.1	117.0	113.9	106.8	1499.10
1994	97.2	92.6	126.7	91.6	121.3	106.4	124.7	138.9	126.9	144.9	120.8	112.9	1404.90
1995	150.1	119.8	115.8	132.0	132.9	118.1	139.2	149.2	162.2	222.8	207.6	165.5	1815.20
1996	139.3	124.2	143.8	108.8	120.9	121.3	128.8	144.5	178.3	216.2	179.3	134.2	1739.60
1997	117.5	104.9	133.1	118.0	140.7	131.8	149.0	135.8	136.5	218.6	168.6	132.5	1687.00
1998	141.0	129.2	131.1	129.4	248.2	122.3	132.3	138.3	157.8	170.3	173.6	134.8	1808.24
1999	141.5	131.5	136.0	129.9	291.8	123.9	132.8	142.1	159.2	174.9	176.5	134.7	1874.76
2000	136.8	128.7	129.3	128.6	150.3	121.5	132.1	137.0	154.3	167.2	171.0	130.9	1687.53
2001	137.3	130.8	134.9	129.4	159.6	122.9	132.7	139.8	156.4	170.4	173.8	131.4	1719.40
2002	137.2	131.0	135.6	128.8	160.1	123.0	132.9	139.1	156.0	167.2	175.3	131.6	1717.95
2003	136.3	129.8	132.9	127.8	159.0	122.3	132.8	137.1	154.9	163.6	173.4	131.3	1701.18
2004	138.8	131.9	138.2	129.1	170.5	123.7	133.6	140.2	156.6	168.7	175.6	133.0	1739.92
2005	135.8	129.8	131.7	126.6	160.1	121.4	132.7	134.9	154.0	159.1	170.2	131.6	1687.85
2006	151.6	165.1	168.6	135.1	213.1	132.8	138.2	158.0	165.3	198.4	193.3	140.0	1959.48
2007	161.6	187.1	190.2	138.2	260.8	141.0	142.0	171.1	171.6	218.2	204.8	144.8	2131.52
2008	152.8	168.5	171.4	133.5	255.3	136.8	137.7	156.7	164.5	193.4	189.0	141.9	2001.45
2009	156.9	176.7	180.1	133.8	291.5	138.7	139.9	160.8	166.1	200.6	191.9	143.5	2080.45
2010	173.3	214.8	216.1	137.1	121.5	152.0	145.5	181.0	177.2	232.0	204.9	152.6	2415.49
AÑO	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
TOTAL	6475.1	6124.9	6172.3	5758.6	8559.0	5669.6	6012.3	6861.2	7606.5	8729.4	8391.3	7119.0	83479.3
MEDIA	140.8	133.2	134.2	130.9	186.1	123.3	133.6	149.2	165.4	189.8	182.4	154.8	1814.8
MAX	202.6	214.8	216.1	190.8	291.8	152.0	158.2	182.0	200.0	232.0	233.8	209.9	3129.7
MIN	97.2	92.6	11.5	91.6	101.3	85.6	118.0	108.8	126.9	117.0	113.9	106.8	1404.9

Anexo 02

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) - REGISTRO HISTORICO

ESTACION: LAMPA LATTIUD 15°21'40.17" DEPARTAMENTO PUNO
 LAMPA LONGITUD 70°22'27.12" PROVINCIA LAMPA
 ALTIUD 3892 DISTRITO LAMPA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1963	206.8	125.9	139.6	63.9	13	7	0	0.2	34.9	108.7	44.1	167.4
1964	43	118.4	127.6	34.4	16.5	0	0	0	15.9	20.9	63.5	50.1
1965	154.8	97.5	99.1	31	0	0	0	0	5.5	23	45	155
1966	31	107	53	14	0	0	0	0	18.3	31.7	61.2	97.1
1967	67.6	111.7	128.6	14.3	13.5	0.6	4.9	5.2	61.6	58.5	11.8	168.5
1968	97.9	199.4	73.4	54	4.4	2.2	5.8	3	27	53.1	145.5	67.6
1969	164.4	75.7	32.9	45.5	0	2.8	3.2	0	5.8	62.2	58.7	63.4
1970	142.9	107.6	126.3	39.2	8.6	0	0	0	5.9	27.7	21.4	112.7
1971	97.8	184.4	36	19.4	0	0	0	8.4	0.5	32.6	42.9	144.4
1972	239.3	89	149.6	17.6	0.8	0	0	0	23.1	11.1	77.5	60.3
1973	213.1	158.1	121.1	89.8	7.6	0	2	3.3	43.8	81.6	38.1	61.6
1974	222.4	107.2	60.6	36.4	0	8.7	1.3	71.1	18.2	24	44.7	78.9
1975	157.7	178.1	113.8	18.1	30.5	0.8	0	3.8	14.8	43.6	7.2	82.9
1976	187.2	68.5	55.2	15	19.1	4	0.3	9.3	88.2	0	11	111.3
1977	71	170	208.5	11.5	0	0	1	0	29	75.2	124	163.7
1978	414.2	176	142.5	71	0	1.5	0	3.5	22	28.7	123	209.6
1979	192.5	76.9	161.9	45.7	3.3	0	0	6.2	0	38.8	57.9	136.5
1980	86.5	95.5	176.5	5	5.9	0	0	5.5	80.1	65	73.5	54
1981	190.5	145.5	136.1	48.5	0	0	0	28	46.5	57.8	56.5	173.5
1982	166.5	101.5	140	148.5	0	2.5	0	6.5	77.5	48.2	131	39.5
1983	23	49.2	24.5	13	8.5	4.5	0	4.5	32.5	44	26.5	47.5
1984	223.8	127.1	44.9	83	25.5	0	0	13	0	137.3	240.3	263.7
1985	156.1	433.3	146.5	182.2	11	37	0	9.5	33.7	56	145.4	158.4
1986	131.3	186.7	142.4	64.2	3.6	0	1.4	15.1	23.5	10.4	38.9	122
1987	215.5	76.3	17.1	25.8	4	1.8	19.2	0	4.2	29.6	146.6	101.4
1988	194.5	56.5	160.5	117.3	21.7	0	0.1	0	11.9	39.7	2.9	146.2
1989	131.4	82	111.5	63.2	0.5	2.6	0.8	4.9	2.6	9.1	41.9	49.7
1990	89.7	61.7	31.3	18.9	13.9	43.1	0	9	2.9	92.7	96.7	91.8
1991	138.7	107	90.5	38.2	23.5	40	0.8	0	8.5	59.4	26.6	82.9
1992	86.4	76.2	33.5	31.4	0	2.8	1.4	63.4	0.5	49.2	61	111.1
1993	155.3	18.2	140.1	24.6	9.6	0.2	0	26.9	13.4	66	74.6	135.7
1994	164	148.2	105	58.1	1.5	0.7	0	0	4.5	17.6	51.8	85.2
1995	107.8	94.9	94.2	23.7	0.8	0	0	5.8	19.7	18.7	55.3	61.8
1996	196	100.6	108.4	23.6	16.5	0	1.8	2.5	22.1	13.5	74.1	149.3
1997	149.4	177.8	147.1	68.9	3.9	0	0	19	42.9	39.9	113.2	95.6
1998	104.7	154.4	104	25.8	0	2	0	0	0.2	44.9	69.9	62.1
1999	152.7	97.8	143.4	123	5.3	1.8	0	0.8	32.7	105.5	17.6	63.5
2000	173.7	113.5	130.3	52.7	7.1	6.2	0	7.4	14.5	57.1	9.9	114.2
2001	249.7	188.3	114.6	29.5	10.6	2.9	2.2	8.1	4	57.5	46.1	73.7
2002	121.8	76.5	139.4	67.6	21.7	4	18.7	9.1	16.4	83.3	92.6	177.4
2003	203.3	136.2	139.1	18.3	5.2	3.2	0	1.5	30.9	9.1	23.7	132.1
2004	266.6	144.1	101	38.9	9.3	2	2.3	19.2	26.5	21.6	16.8	100
2005	100.6	278.3	116.5	49.6	0	0	0	0	22.4	75.3	54.3	164.6
2006	188.2	109.5	122.9	19.8	0.7	3.3	0	0.2	20.1	52.1	79.7	95.7
2007	15.8	11.6	125.5	25.2	3.8	0	6.7	10	8.7	18.1	57.9	47.9
2008	99.4	50.3	51.4	1.7	0	0	0	1.4	0	19.2	7.3	127
2009	24.5	98.8	80.6	33.2	0	0	0	0	3.3	6.1	49.9	40.4
2010	85.5	101.7	48.7	16.1	10.1	0	0	0	0	22.6	7	73.6
N° años	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
max	414.2	433.3	208.5	182.2	30.5	43.1	19.2	71.1	88.2	137.3	240.3	263.7
min	15.80	11.60	17.10	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90	39.50
prom	147.84	121.89	106.19	45.01	7.11	3.92	1.54	8.03	21.28	44.75	61.81	107.76
Des. Estan	74.12	68.20	45.15	37.02	8.06	9.66	3.98	14.23	21.40	29.71	47.15	49.56
Media	153.75	107.10	115.55	33.80	4.20	0.65	0.00	3.65	17.30	41.75	54.80	98.55

Anexo 03

TEMPERATURA MEDIA (°C) - ESTACION LAMPA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	9.7	10.1	9.9	8.1	6.2	4.1	3.2	6.0	6.4	7.8	7.7	8.6	87.8
1965	8.4	9.2	9.0	8.2	6.4	3.9	4.2	4.9	7.5	8.3	9.8	10.1	89.9
1966	10.2	10.1	8.9	7.7	6.1	4.2	3.6	5.7	7.8	9.9	9.6	10.2	94.0
1967	10.2	9.5	9.2	7.6	6.7	4.6	4.2	5.4	6.9	8.4	9.4	8.4	90.5
1968	9.2	9.4	8.6	7.7	6.1	4.5	3.8	5.6	7.1	9.2	9.3	9.4	89.9
1969	9.7	9.9	10.0	9.0	6.8	4.8	4.3	4.2	7.1	8.4	10.1	10.3	94.6
1970	9.9	9.6	8.9	8.6	6.7	5.8	4.8	5.8	7.3	8.9	9.7	10.1	96.1
1971	9.8	9.0	9.1	7.9	5.2	4.9	3.6	5.5	6.4	6.8	8.4	9.4	86.0
1972	9.0	9.0	9.5	8.7	5.9	4.1	5.2	5.8	8.1	9.4	10.7	10.1	95.5
1973	10.8	10.5	9.8	9.8	7.5	4.9	4.5	6.4	7.5	9.8	10.1	9.6	101.2
1974	9.2	9.9	9.0	8.4	6.1	5.0	5.3	4.9	7.4	8.3	8.7	9.0	91.2
1975	8.6	9.6	9.0	8.1	6.1	4.5	2.8	5.3	7.5	6.9	8.2	9.0	85.6
1976	8.9	9.2	9.3	6.6	5.7	5.6	4.7	5.2	7.6	7.5	8.2	8.9	87.4
1977	10.1	9.8	9.7	8.8	6.3	4.0	5.0	4.9	7.5	8.8	9.8	9.4	94.1
1978	9.9	9.8	9.5	8.2	6.0	4.8	3.4	6.0	6.3	7.3	9.5	9.9	90.6
1979	9.5	10.0	9.9	7.8	5.2	5.8	4.2	4.8	6.4	7.9	9.4	9.2	90.1
1980	10.0	9.6	9.5	8.1	6.8	6.3	6.4	6.4	8.8	9.0	9.4	8.9	99.2
1981	9.9	9.6	9.1	8.7	6.8	5.0	6.2	7.6	8.1	9.1	10.1	9.7	99.9
1982	9.5	9.5	9.3	7.2	5.1	4.4	6.0	7.6	8.7	7.8	10.2	10.0	95.3
1983	9.2	9.6	9.9	8.8	6.9	6.2	7.0	6.9	8.3	7.7	9.3	10.8	100.6
1984	9.4	9.4	10.4	8.8	7.2	6.1	5.3	7.5	6.3	8.5	9.0	8.9	96.8
1985	9.3	8.8	8.6	8.5	7.4	5.7	3.7	6.2	8.7	8.4	8.7	9.1	93.1
1986	9.9	9.3	9.4	9.3	6.0	5.1	3.8	5.7	8.0	7.9	10.1	10.7	95.2
1987	10.9	9.8	9.9	9.0	7.1	5.3	5.0	6.0	7.4	9.0	10.8	11.1	101.3
1988	10.9	10.5	10.5	9.5	7.2	4.5	4.7	5.7	8.5	8.6	9.0	10.3	99.9
1989	10.0	9.4	9.8	8.9	6.5	5.8	4.8	5.9	7.6	8.9	8.8	10.4	96.8
1990	10.3	10.1	9.8	8.8	7.3	5.4	4.8	6.7	7.7	10.0	10.8	10.2	101.9
1991	10.5	10.4	10.6	9.1	6.6	4.4	5.4	6.5	8.3	9.4	9.2	9.5	99.9
1992	9.9	9.5	9.3	8.3	6.4	5.7	4.4	4.7	6.8	8.4	8.4	9.8	91.6
1993	9.6	8.6	9.3	9.7	8.4	4.4	5.0	5.5	7.4	9.0	10.3	10.9	98.1
1994	10.2	9.8	9.6	9.3	6.4	4.1	4.8	5.8	7.6	8.5	10.2	10.6	96.9
1995	10.9	10.1	9.5	8.3	6.2	4.5	5.4	8.3	9.2	11.2	11.0	10.0	104.6
1996	10.0	9.8	9.9	9.4	6.9	4.5	4.3	6.5	7.5	9.0	9.5	10.2	97.5
1997	10.1	9.5	9.1	7.5	6.1	4.1	4.8	5.9	8.2	9.4	10.1	11.7	96.5
1998	12.5	12.6	11.7	10.0	6.5	6.0	5.5	6.7	7.6	9.4	9.8	10.7	109.0
1999	10.5	10.3	10.2	9.2	7.2	4.9	5.4	6.5	7.7	9.1	8.9	10.3	100.2
2000	10.3	9.9	9.9	8.6	7.1	5.3	4.3	6.6	7.9	8.8	9.6	9.6	97.9
2001	9.9	10.0	9.7	8.8	6.8	5.4	4.9	5.8	8.6	9.6	10.7	10.2	100.4
2002	10.5	10.6	10.2	9.3	7.6	6.1	4.8	6.1	8.3	10.0	10.6	10.7	104.8
2003	10.5	10.8	9.9	8.7	6.8	4.3	5.0	5.5	6.8	7.9	9.1	10.8	96.1
2004	9.8	9.6	9.7	9.0	5.5	4.1	4.4	5.7	7.2	8.8	10.0	11.3	95.1
2005	10.8	10.2	10.8	9.8	6.4	3.7	5.2	5.0	7.9	9.6	9.8	10.1	99.3
2006	9.7	10.6	10.7	9.2	5.7	5.3	4.1	6.5	7.1	9.5	10.9	10.7	100.0
2007	11.1	11.1	10.0	10.1	7.7	5.8	5.3	6.7	8.7	9.6	9.3	9.7	105.0
2008	9.8	9.9	9.2	7.8	6.3	5.7	4.2	5.3	6.8	9.9	8.8	9.7	93.6
2009	9.6	9.5	9.0	8.6	6.7	4.1	5.5	5.3	8.0	9.9	10.6	10.7	97.3
2010	10.6	11.0	10.9	10.0	8.1	6.3	4.7	6.1	7.6	9.2	9.4	10.7	104.5
N° años	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
max	12.5	12.6	11.7	10.1	8.4	6.3	7.0	8.3	9.2	11.2	11.0	11.7	109.0
min	8.4	8.6	8.6	6.6	5.1	3.7	2.8	4.2	6.3	6.8	7.7	8.4	85.6
prom	10.0	9.9	9.7	8.7	6.6	5.0	4.7	5.9	7.6	8.8	9.6	10.0	96.4
Des. Estan	0.7	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.7	5.2
Media	10.3	10.2	10.0	8.9	6.8	5.2	4.9	6.1	7.9	9.1	9.9	10.3	94.8

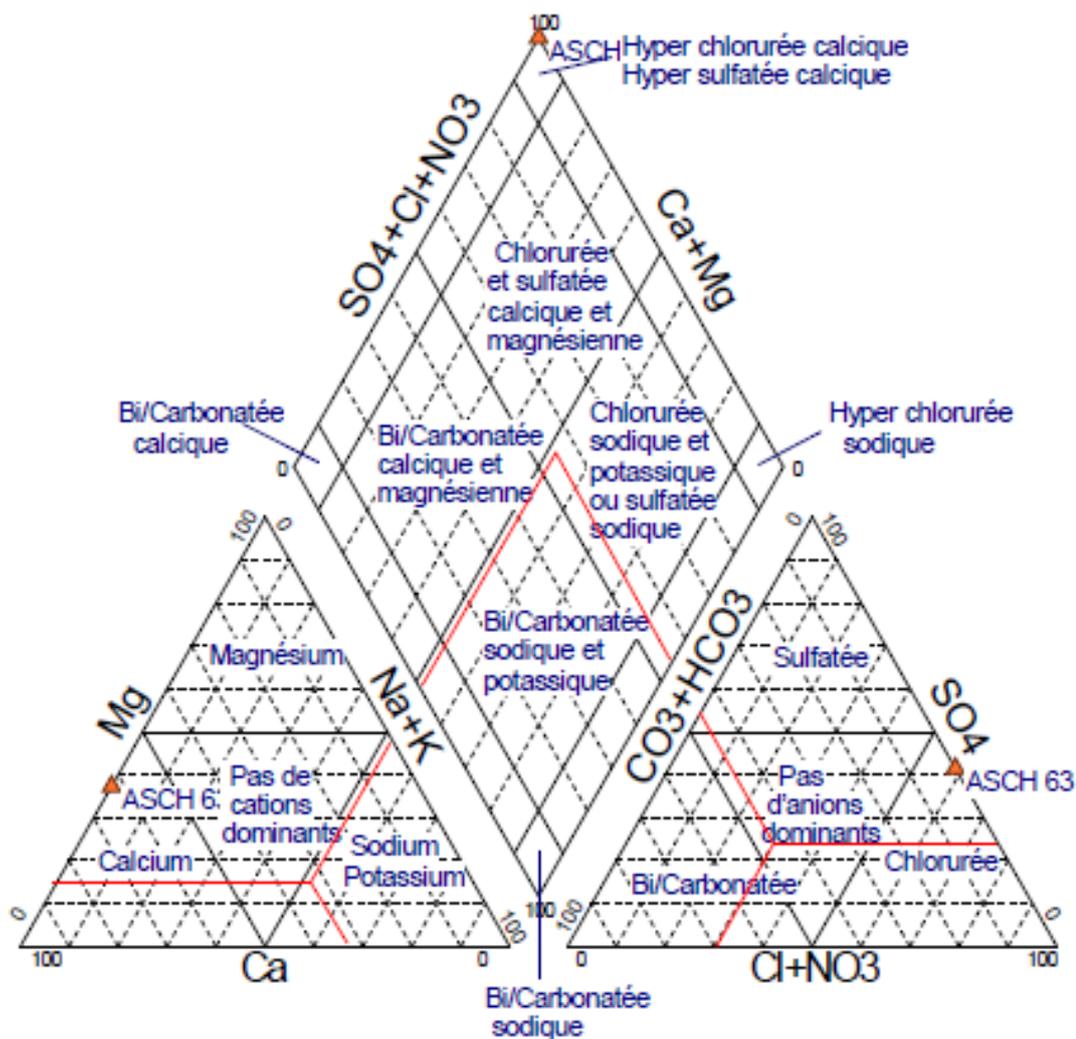
Anexo 04

Pozos Con nivel Piezometrico , Ph, STD

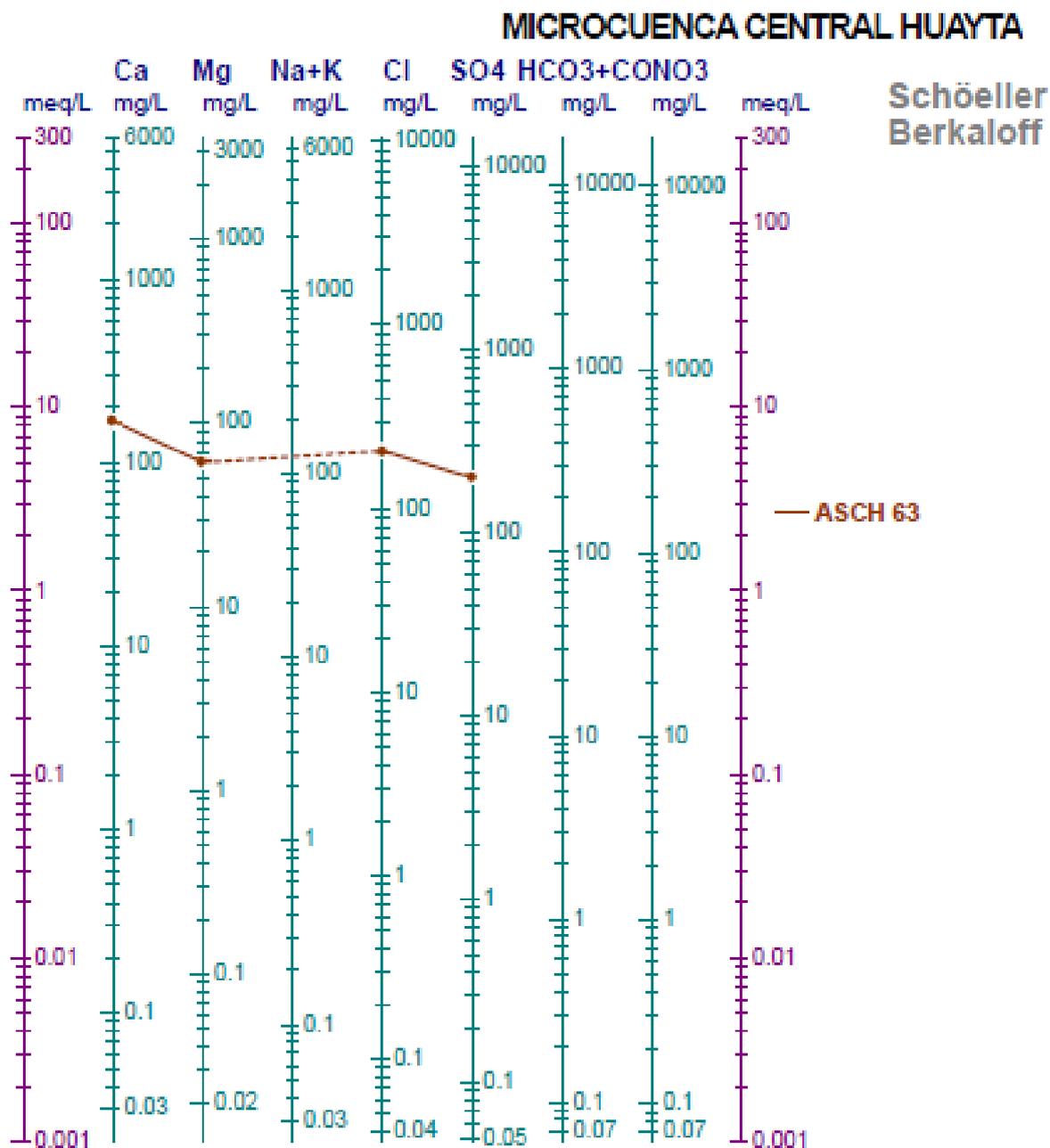
N° POZO	NORTE	ESTE	COTAS	Ce mmtho	pH	STD	NIVEL SETI	NIVEL MAYO	Vol M3/AÑO	ESTADO	DISTRITO
ASCH001	8296988.00	346757.00	4166.60	0.50	7.04	238.00	4165.10	4164.89	17.52	UTILIZADO	LAMPA
ASCH008	8297700.00	347449.00	3919.19	0.40	7.06	70.00	3916.94	3916.76	197.10	UTILIZADO	LAMPA
ASCH009	8297831.00	351069.00	3882.68	0.14	7.32	371.00	3879.71	3879.53	91.98	UTILIZADO	LAMPA
ASCH010	8297850.00	352020.00	3834.83	0.15	6.23	224.00	3832.57	3832.39	144.55	UTILIZADO	LAMPA
ASCH011	8297889.00	348257.00	3892.91	0.16	7.40	266.00	3891.31	3891.10	308.43	UTILIZADO	LAMPA
ASCH032	8298377.00	348420.00	3890.00	0.18	7.37	245.00	3888.38	3888.20	121.18	UTILIZADO	LAMPA
ASCH033	8298426.00	347692.00	3910.00	0.36	7.01	413.00	3908.13	3907.95	18.83	UTILIZADO	LAMPA
ASCH037	8298509.00	351274.00	3851.24	0.16	7.41	105.00	3849.96	3849.79	137.97	UTILIZADO	LAMPA
ASCH038	8298547.00	352235.00	3820.00	0.40	6.21	91.00	3817.65	3817.48	131.40	UTILIZADO	LAMPA
ASCH039	8298601.00	346764.00	3907.83	0.91	7.03	105.00	3906.83	3906.66	111.69	UTILIZADO	LAMPA
ASCH043	8298684.00	349702.00	3877.60	0.21	7.23	308.00	3876.51	3876.32	23.36	UTILIZADO	LAMPA
ASCH075	8299313.00	351246.00	3868.69	0.40	6.21	861.00	3866.71	3866.53	0.00	UTILIZABLE	LAMPA
ASCH083	8299536.00	350559.00	3889.53	0.70	7.48	917.00	3887.13	3886.93	39.42	UTILIZADO	LAMPA
ASCH084	8299560.00	347340.00	3832.62	0.52	7.04	161.00	3830.49	3830.31	131.40	UTILIZADO	LAMPA
ASCH086	8299572.00	349586.00	3883.52	0.80	7.31	84.00	3881.87	3881.67	30.66	UTILIZADO	LAMPA
ASCH088	8299680.00	348462.00	3891.11	0.33	7.42	189.00	3888.41	3888.20	56.58	UTILIZADO	LAMPA
ASCH093	8299767.00	346509.00	3900.88	0.90	7.42	238.00	3898.53	3898.35	65.70	UTILIZADO	LAMPA
ASCH100	8299936.00	351639.00	3893.92	0.93	6.13	189.00	3891.53	3891.36	0.00	UTILIZABLE	LAMPA
ASCH114	8300216.00	348586.00	4009.67	0.63	7.36	392.00	4007.45	4007.27	0.00	UTILIZABLE	LAMPA
ASCH116	8300321.00	347157.00	3755.49	0.99	7.31	105.00	3753.67	3753.47	0.00	NO UTILIZABLE	LAMPA
ASCH121	8300462.00	350322.00	4085.68	0.99	7.51	123.00	4084.98	4084.78	131.40	UTILIZADO	LAMPA

Anexo 05

Diagramme de Piper

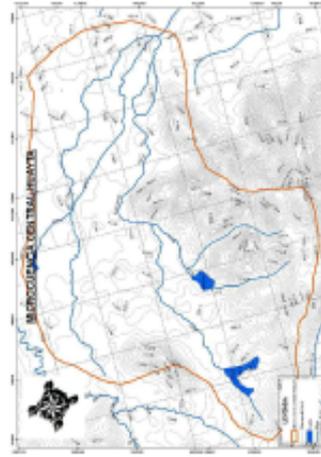
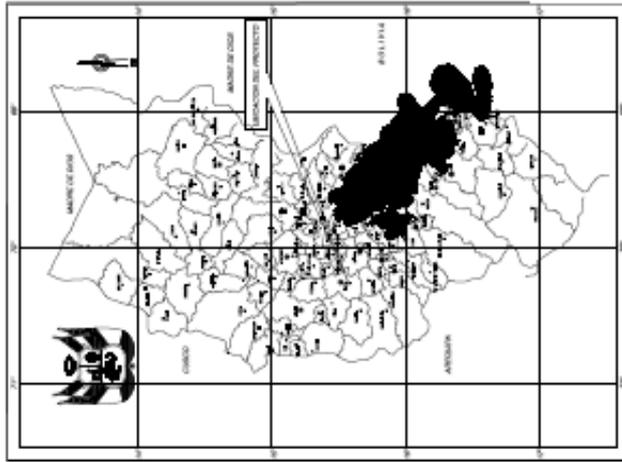


Anexo 06

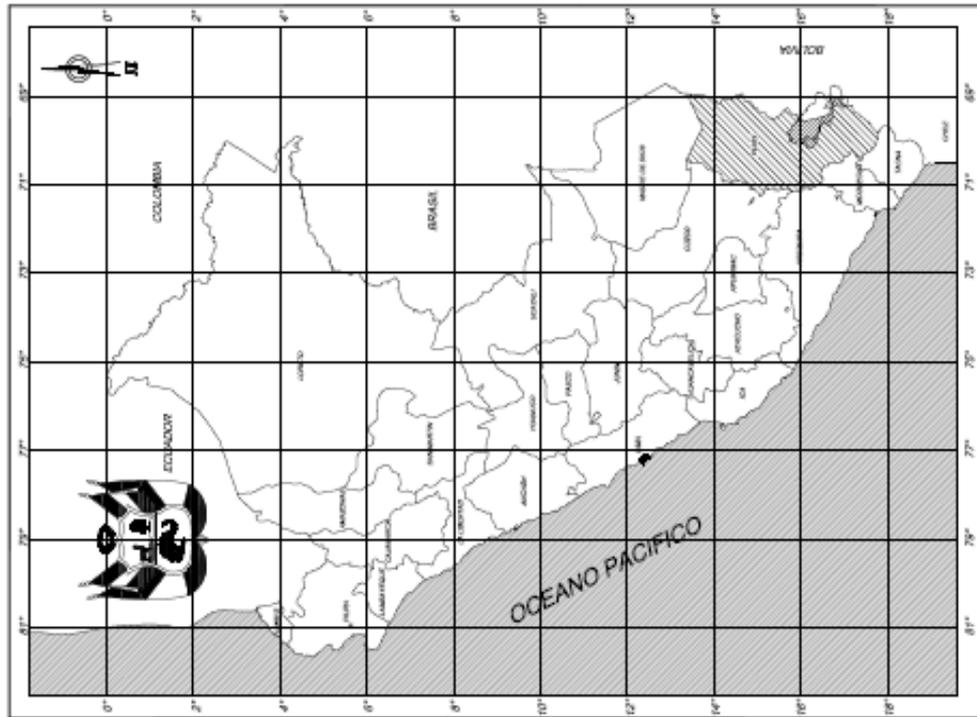


10.1. PLANOS

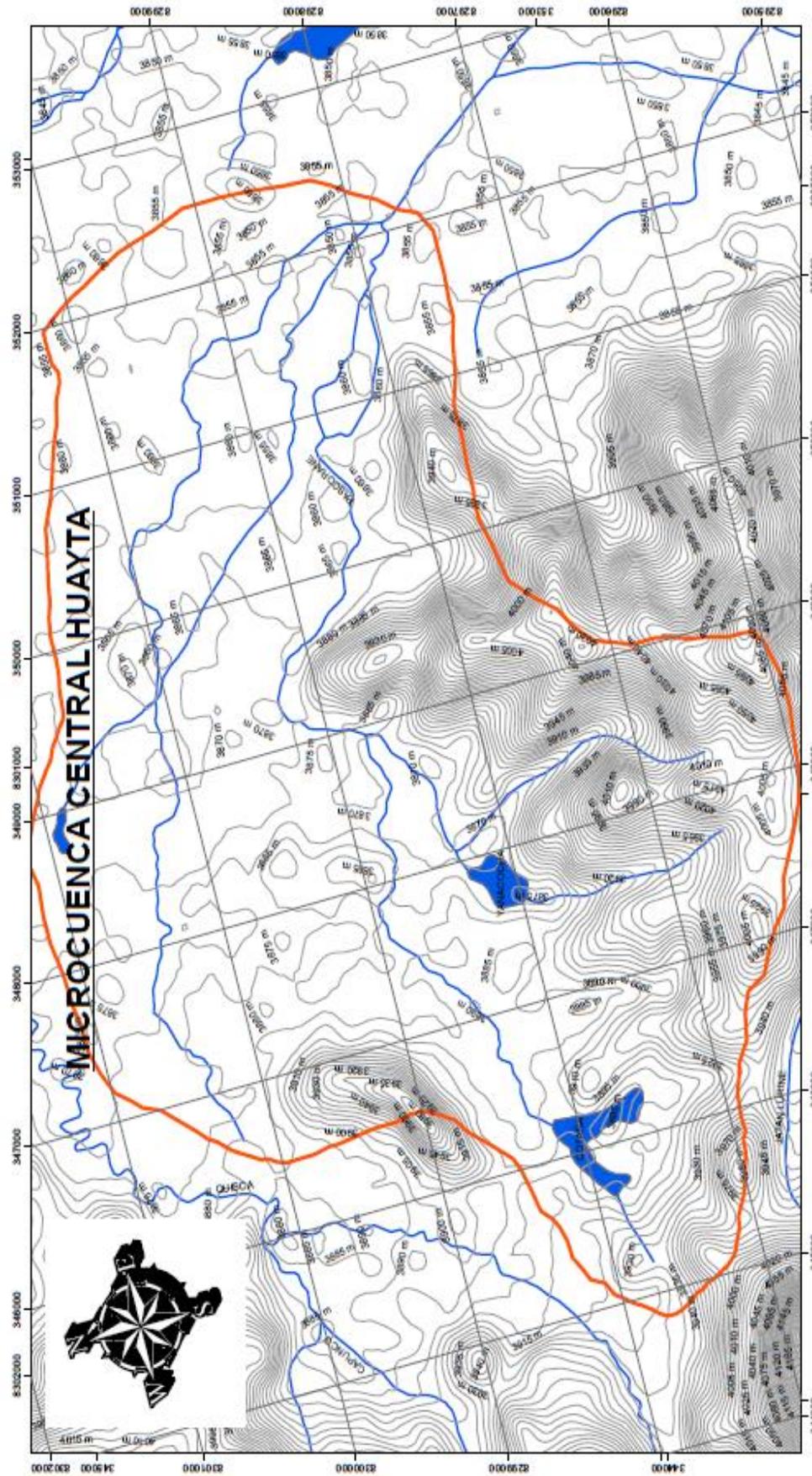
MAPA POLITICO DE PUNO



MAPA POLITICO DEL PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, PUNO FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA	
TESIS: DETERMINACION DEL POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA MICROCUENCA CENTRAL HUAYTA	
L.AMBIA Nº - 1	
BACH. BRUCELE RAMOS A.	FECHA: SETIEMBRE 2012
ESCALA: S/E	



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

02

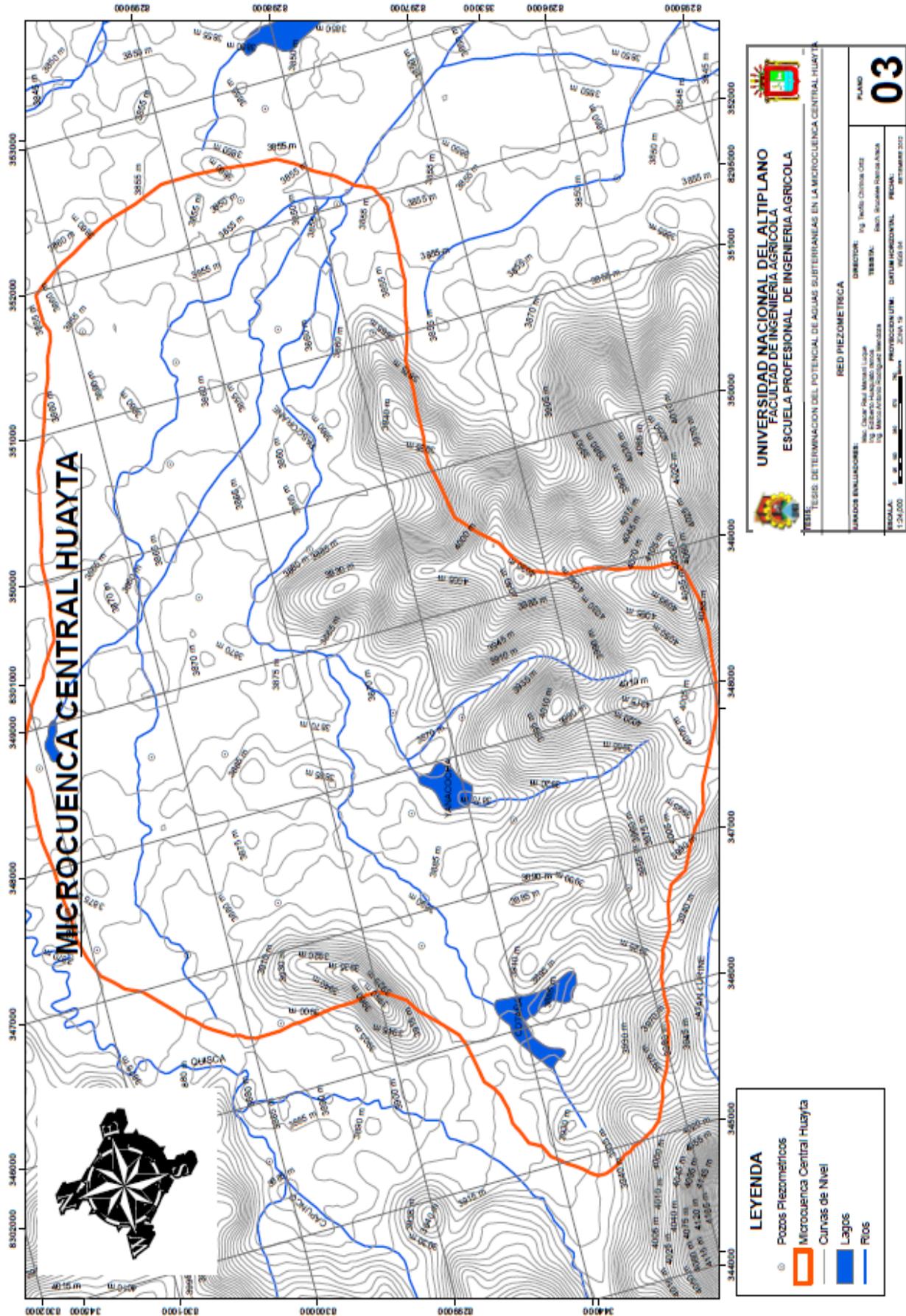
TESIS: DETERMINACION DEL POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA MICROCUENCA CENTRAL HUAYTA

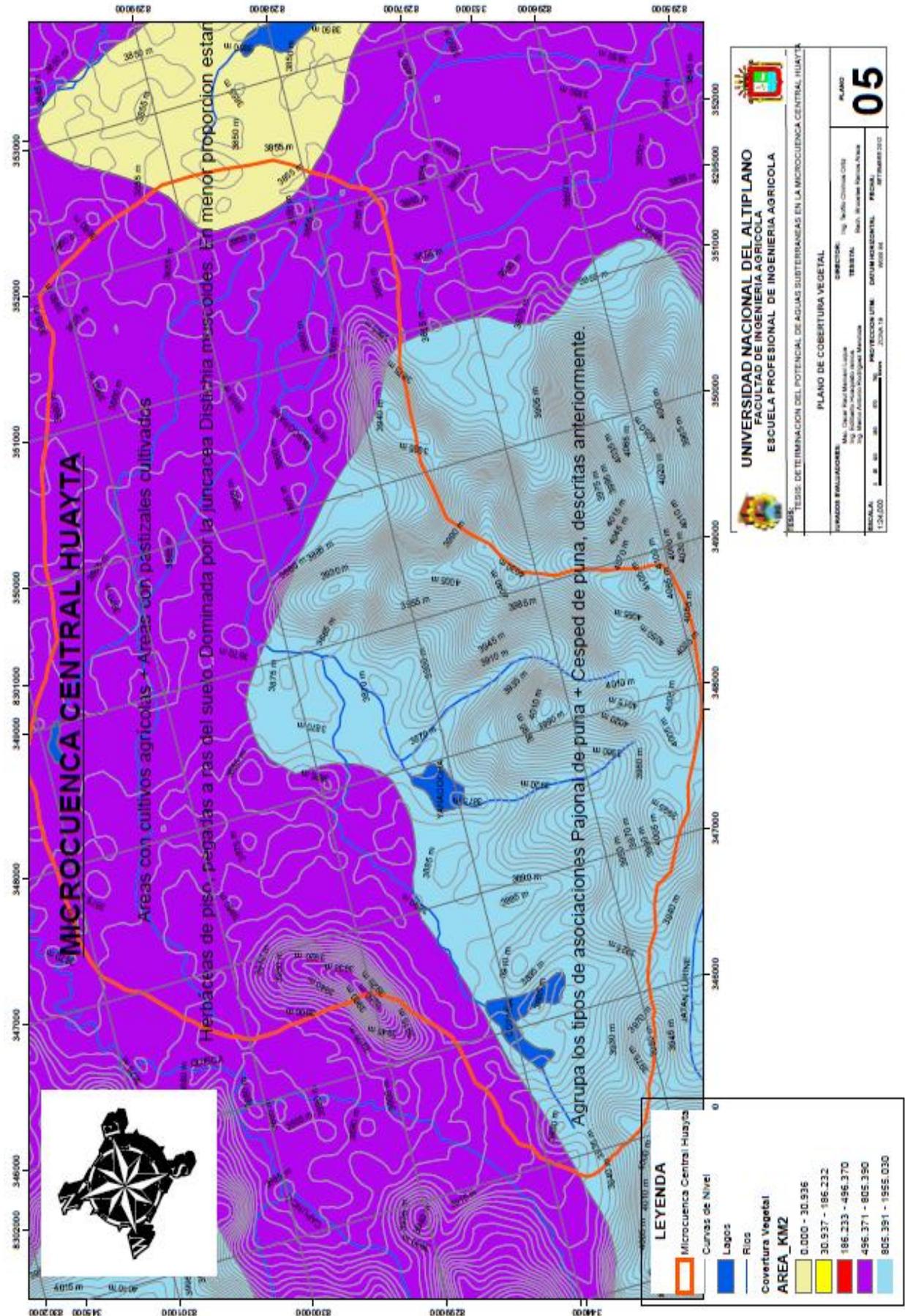
MAPA DE UBICACION GEOGRAFICA DE LA MICROCUENCA CENTRAL HUAYTA

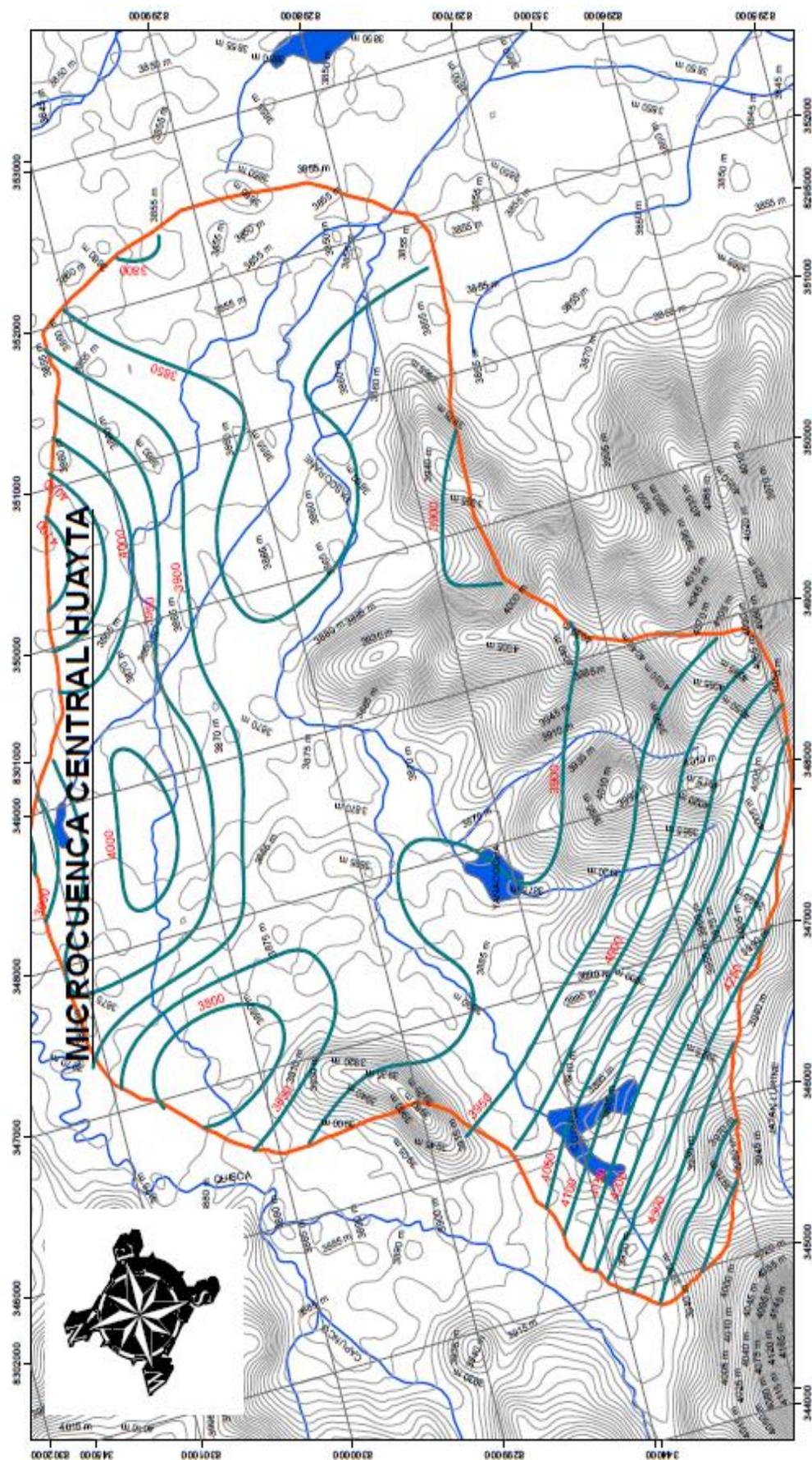
IMPRESOR EVALUADOR: Ing. César Raúl Morales Córdova Ing. Mónica Antonia Rodríguez Manzanedo	DIRECCION: Ing. Néstor Córdova Córdova TESISISTA: Ing. Mónica Antonia Rodríguez Manzanedo	PUNO 02 PROTECCION UTM: DATUM HORIZONTAL: PERUANA ESCALA: 1:24,000 FECHA: JUNIO 19 HOJA 01
---	--	---

LEYENDA

- Microcuenca Central Huayta
- Curvas de Nivel
- Lagos
- Rios







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

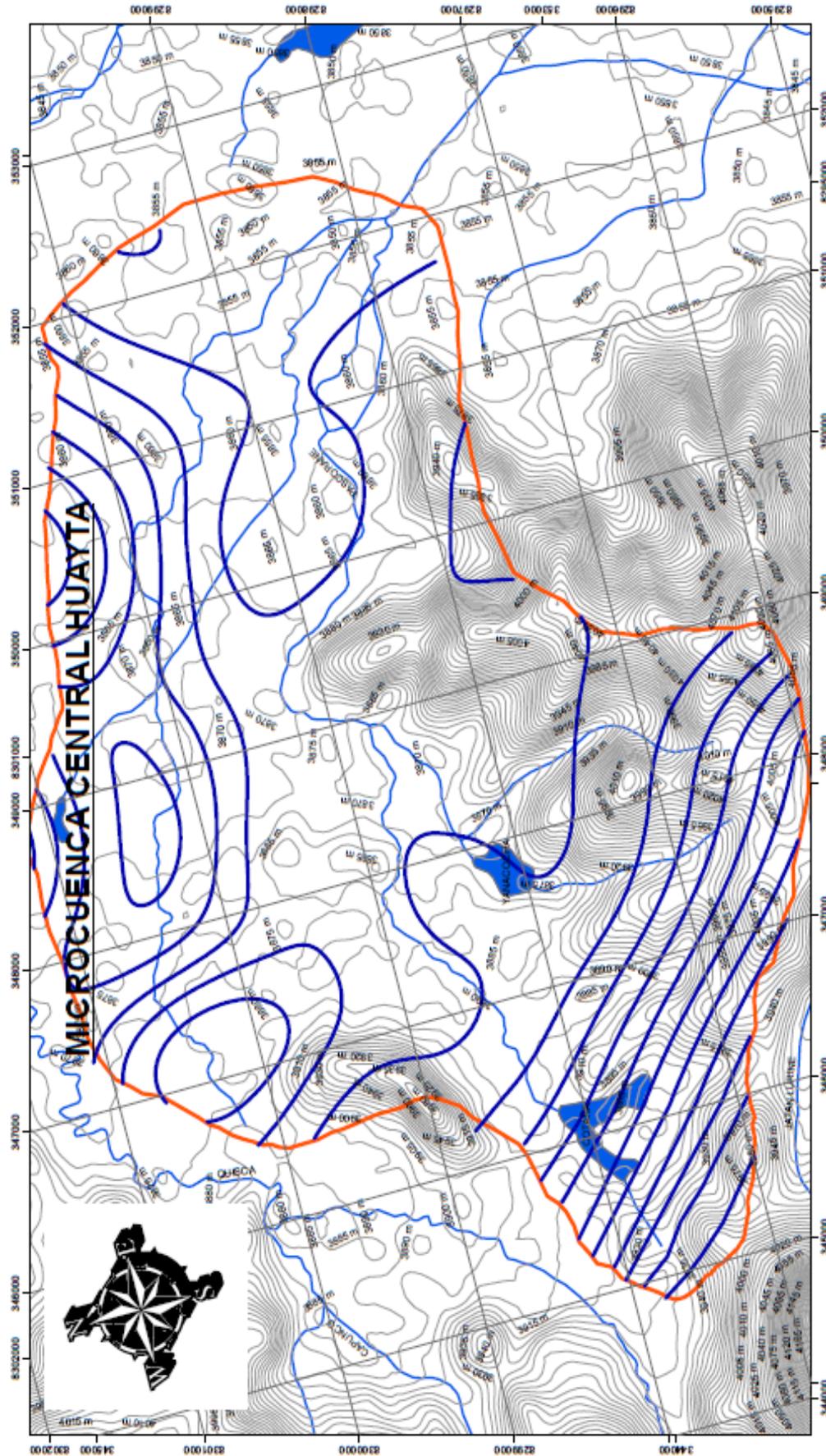
TESIS DE DETERMINACION DEL POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA MICROCUENCA CENTRAL HUAYTA

HIDROISORIPSAS SEPTIEMBRE 2011

IMPACTOS EVALUADORES:	PLANO
Mag. Oscar Raúl Mamalluca	08
Ing. Tullio Christian Coto	
TITULO:	
Ing. Antonio Antonio Poma Alva	
FECHA:	
1 - 8 - 2011	
PROYECCION UTM:	PROYCCION UTM
UTM 18 S	UTM 18 S
ESCALA:	ESCALA
1:24,000	1:24,000

LEYENDA

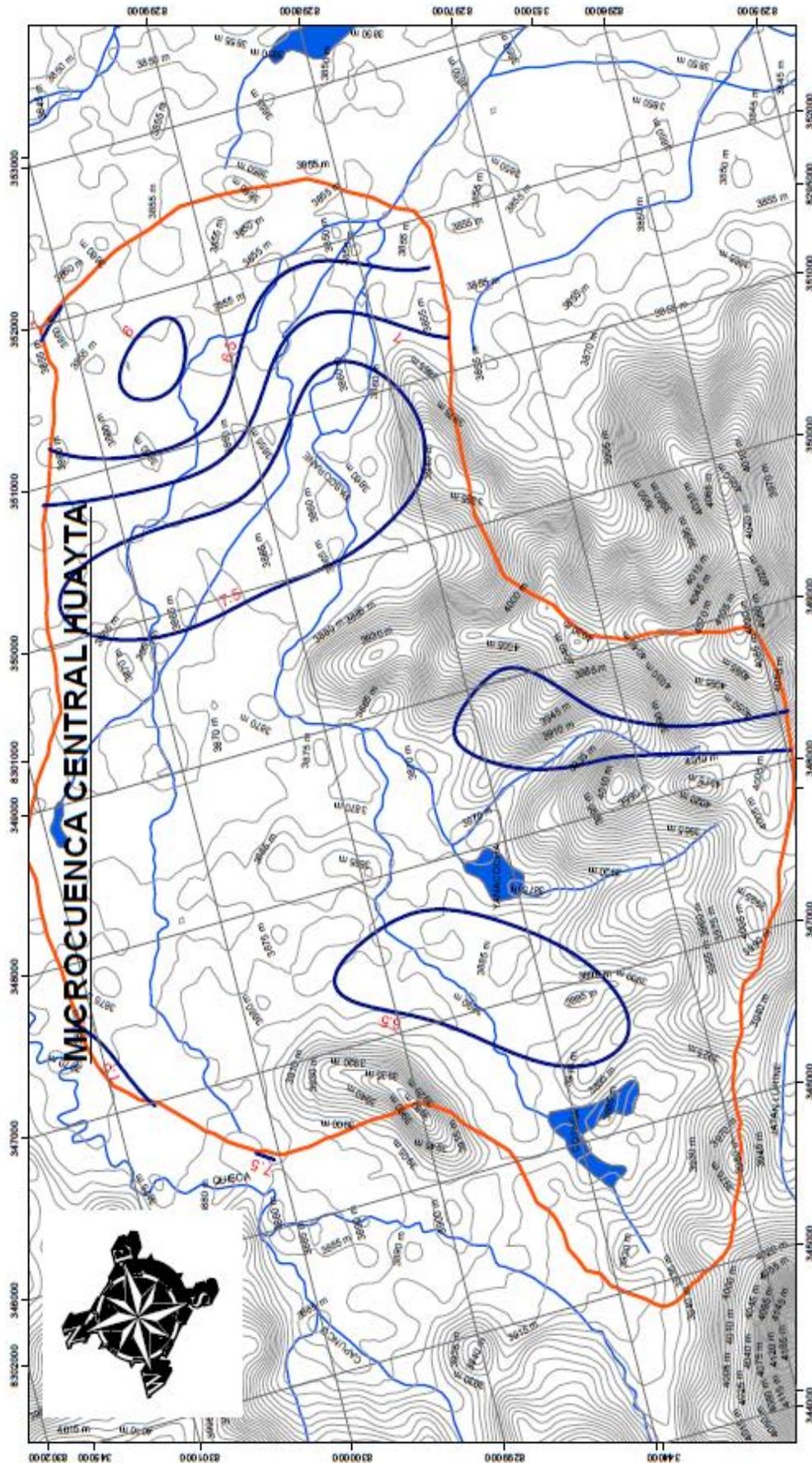
- Hidroisohipsas Setiembre 2011
- Microcuenca Central Huayta
- Curvas de Nivel
- Lagos
- Ríos



 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA	
TITULO: DETERMINACION DEL POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA MICROCUENCA CENTRAL HUAYTA HIDROSILOSIPIAS ABRIL 2012	
MAESTRO: Ing. Nelly Cristina COTA TITULAR: Ing. Ricardo Riquelme Arana TITULAR: Ing. Nelson Antonio Pacheco Manzanilla	09
ESCUELA: I. A. G. 09 PROFESOR: DR. GUYUM HONORACIO FERRAZ FECHA: 2014.04.18	PLANO

LEYENDA

-  Hidrosilosispas Abril 2012
-  Microcuenca Central Huayta
-  Curvas de Nivel
-  Lagos
-  Rios



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA</p>	
<p>TESIS: DE TERMINACION DEL POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA MICROCUENCA CENTRAL HUAYTA</p>	
<p>PH</p>	
<p>INTEGRADOR: WALDOR BALAGUON</p> <p>MAESTRO: Ing. NUBEL CHAVEZ COTI</p> <p>TESISTA: Ing. Wladimir Nelson Poma</p> <p>INGENIERO AUXILIAR: Ing. Juan Antonio Rodriguez Macalino</p>	<p>PLANO: 10</p>
<p>FECHA: 1-24-2008</p> <p>PROYECCION: UTM</p> <p>PROYECCION LOCAL: UTM 19</p> <p>ESCALA: 1:24,000</p> <p>PROYECTO: 2008</p> <p>FECHA DE ELABORACION: 11-2008</p>	<p>FECHA: 11-2008</p>

LEYENDA

- PH
- Microcuenca Central Huayta
- Curvas de Nivel
- Lagos
- Rios

