

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



**“ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO SUBTERRANEO DEL VALLE
DE CAJAMARCA - CAJAMARCA”**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO HIDRÁULICO

Presentado por el bachiller:

HERNÁNDEZ BAUTISTA, David

Asesorado por:

Dr. Ing. GASPAR V. MENDEZ CRUZ

CAJAMARCA – PERU

2019

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Especial agradecimiento a mi Asesor de Tesis el Dr. Ing. Gaspar Méndez Cruz, por sus consejos y amistad.

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por saber guiarme para salir adelante y apoyarme en realizar mí sueño, a mis hijos que son el motivo para superar cualquier adversidad en mi vida. A mi familia que recibo de ellos su apoyo incondicional, comprensión y cariño.

ÍNDICE

Contenido	Página
CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes teóricos	4
2.2. Bases teóricas.....	4
Origen de las aguas subterráneas.	4
Formaciones geológicas.....	5
Tipos de acuíferos	6
El grado de confinamiento	6
Los materiales litológicos que forman el acuífero.....	8
Permeabilidad del acuífero	8
Parámetros hidrogeológicos de los acuíferos.....	9
Ley de Darcy.....	16
Red de flujo.....	17
Geología regional.....	19
Hidrogeología	22
Suelos de la región según su origen.....	25
Términos básicos	26
CAPÍTULO III : MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Ubicación del área de estudio	28
3.2. Equipos y materiales utilizados durante la investigación.	29
3.3. Material recopilado	29
3.4. Metodología.....	30
3.5. Determinación de la conductividad hidráulica	32
CAPÍTULO IV : RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
4.1. Inventario de fuentes de agua subterránea	35
4.2. Características y parámetros hidrogeológicos del acuífero	37
4.3. Determinación de la porosidad efectiva.....	40
CAPÍTULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43

CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES.....	44
CAPÍTULO VI : BIBLIOGRAFÍA	45
CAPÍTULO VII : ANEXOS	47
A.1 Prueba de bombeo.....	47
A.4 Inventario de pozos del valle de Cajamarca.....	54
A.5 Panel fotográfico.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1: Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos.....	10
Cuadro 2: Valores del coeficiente de permeabilidad.....	10
Cuadro 3: Clasificación de la conductividad hidráulica.....	11
Cuadro 4: Intervalos de la conductividad según la textura y estructura del suelo que conforma.....	11
Cuadro 5: Clasificación de la conductividad hidráulica según su rapidez.	12
Cuadro 6: Valores de coeficiente de almacenamiento.....	13
Cuadro 7: Intervalos de porosidad representativa para materiales sedimentarios.....	14
Cuadro 8: valores de la porosidad drenable en relación con la textura y estructura del suelo (FAO 1980).	15
Cuadro 9: Transmisividad en el valle de Cajamarca.	39
Cuadro 10: Conductividad hidráulica en el valle de Cajamarca	40
Cuadro 11: Valores obtenidos de la porosidad efectiva (fase descenso).....	41
Cuadro 12: Valores obtenidos de la porosidad efectiva (fase recuperación).	41
Cuadro 13: Valores obtenidos del volumen del agua en el acuífero.	42
Cuadro 14: Prueba de bombeo pozo N° 16 - UNC (fase descenso).....	47
Cuadro 15: Prueba de bombeo pozo N° 38 (fase descenso).....	48
Cuadro 16: Prueba de bombeo pozo N° 38 (fase recuperación).....	49
Cuadro 17: Prueba de bombeo pozo N° 43 – Cerrillo Bajo (fase descenso).....	50
Cuadro 18: Prueba de bombeo pozo N° 43 – Cerrillo Bajo (fase recuperación).....	51
Cuadro 19: Prueba de bombeo pozo N° 21 – Clínica Limatambo (fase descenso).....	52
Cuadro 20: Prueba de bombeo pozo N° 21 – Clínica Limatambo (fase recuperación) 53	
Cuadro 21: Inventario de pozos del valle de Cajamarca	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1: Pozos surgentes y no surgentes.....	7
Figura 2: Aplicación de la ley de Darcy	17
Figura 3: Red de flujo.....	18
Figura 4.- Mapa Geológico del valle de Cajamarca.	20
Figura 5: Mapa Hidrogeológico del valle de Cajamarca.	23
Figura 6: Mapa político administrativo del valle de Cajamarca.....	28
Figura 7: Distribución de los pozos excavados del valle de Cajamarca.....	35
Figura 8: Mapa de isopiezas del valle de Cajamarca.....	36
Figura 9: Mapa secciones transversales del valle de Cajamarca.	37
Figura 10: Perfil hidrogeológico A – A' del valle de Cajamarca, proyección de pozos y nivel freático.	38
Figura 11: Perfil hidrogeológico B_ B' del valle de Cajamarca, proyección de pozos y nivel freático.	39
Figura 12: conductividad hidráulica en función de la porosidad efectiva. (fase recuperación).	42
Figura 13: Permeabilidad hidráulica pozo N° 16 – UNC por el método de Theis.....	56
Figura 14: Permeabilidad hidráulica pozo N° 38 por el método de Theis	56
Figura 15: Permeabilidad hidráulica pozo N° 43 por el método de Theis	57
Figura 16: Permeabilidad hidráulica pozo N° 21 por el método de Theis	57
Figura 17: Vista de las actividades del valle de Cajamarca	58
Figura 18: Pozos visitados donde observamos el nivel freático del valle de Cajamarca	58
Figura 19: Inventariando los pozos del valle de Cajamarca.....	59
Figura 20: Ecosonda para la prueba de bombeo pozo N° 02 de la Universidad Nacional de Cajamarca	59
Figura 21: Prueba de bombeo pozo N° 02 de la Universidad Nacional De Cajamarca .	60

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estimar el potencial hídrico subterráneo del valle de Cajamarca, dicho estudio se realizó en el mes de julio 2019 y se encuentra en la cuenca alta del Rio Cajamarquino, entre las coordenadas (UTM) Este 773137 – 782422 y Norte 9203714 – 9212432. Definiendo un área de 96.46 Km², abarcando mayor área el distrito de Cajamarca, y en menor área los distritos de Los Baños del Inca, Llacanora y Jesús. En esta zona se inventariaron 43 pozos perforados y excavados con diámetros que varían desde 0.30 m hasta 1.20 m, con profundidades que van desde 5.00 m hasta 80.00 m. Durante la visita a campo se realizaron lecturas del nivel freático, con las cuales se logró construir los mapas de isopiezas, analizando la tendencia de las líneas equipotenciales la napa freática es radial con hilos convergentes hiperbólicos, según el eje y dirección de flujo se aprecia que las aguas subterráneas se mueven desde las partes altas hacia las partes bajas del valle obedeciendo a la gravedad terrestre, la distribución de las curvas indican que las zonas de alimentación del acuífero provienen de las partes altas cuya fuente principal son las precipitaciones que se presentan durante el año, las zonas de drenaje corresponde a la parte baja del valle, donde se aprecia el agua muy superficial. La conductividad hidráulica (K) se determinó utilizando el método de Theis, en el acuífero los cuales varían desde 0.20 m/día hasta 0.40 m/día y fueron determinados con las pruebas de bombeo en 04 pozos identificados estratégicamente. La transmisividad se determinó con el método de Theis presentando un valor en promedio de 19.55 m²/día, lo que implica ser un acuífero libre, y una porosidad efectiva de 5.23%, por lo que se estima que dicho acuífero es un buen productor de agua. Con los datos anteriores y considerando el espesor del acuífero saturado un promedio de 55 m, se estimó el potencial hídrico del área en estudio con un valor de 296.13 hm³.

Palabras Claves: Acuífero, agua subterránea, nivel de agua, transmisividad, porosidad efectiva.

SUMMARY

The purpose of this research was to estimate the underground water potential of the Cajamarca Valley, this study was conducted in July 2019 and is located in the upper basin of the Cajamarquino River, between the coordinates (UTM) East 773137 - 782422 and North 9203714 - 9212432. Defining an area of 96.46 km², covering the greater area of the district of Cajamarca, and in a smaller area the districts of Los Baños del Inca, Llacanora and Jesús. In this area 43 wells drilled and excavated with diameters ranging from 0.30 m to 1.20 m were inventoried, with depths ranging from 5.00 m to 80.00 m. During the field visit, water table readings were made, with which it was possible to construct the isopiece maps, analyzing the trend of the equipotential lines the water table is radial with hyperbolic converging threads, according to the axis and direction of flow it is appreciated that groundwater moves from the upper parts to the lower parts of the valley due to terrestrial gravity, the distribution of the curves indicates that the aquifer feeding areas come from the upper parts whose main source is the rainfall that occurs during the year, the drainage areas correspond to the lower part of the valley, where the very superficial water is appreciated. The hydraulic conductivity (K) was determined using the Theis method, in the aquifer which vary from 0.20 m / day to 0.40 m / day and were determined with the pumping tests in 04 strategically identified wells. The transmissivity was determined with the Theis method presenting an average value of 19.55 m² / day, which implies being a free aquifer, and an effective porosity of 5.23%, so it is estimated that said aquifer is a good water producer . With the previous data and considering the thickness of the saturated aquifer an average of 55 m, the water potential of the area under study was estimated with a value of 296.13 hm³.

Keywords: Aquifer, groundwater, water level, transmissivity, effective porosity.

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN

En la Región Cajamarca, el crecimiento poblacional ha demandado trabajo, generándose urbanizaciones, industria las cuales generan el aumento de la explotación de los recursos hídricos, principalmente para usos de riego, industria y doméstico en áreas urbanas y rurales.

El conocimiento de los recursos de las aguas subterráneas, la evaluación de sus reservas su explotación racional y su conservación son de vital importancia para la valorización del desarrollo agrícola económico e industrial de una región. Las aguas subterráneas ofrecen grandes ventajas como la regulación de caudales por acumulación natural y la protección contra las pérdidas por evaporación. Sin embargo su protección y explotación requieren medios técnicos particulares que las investigaciones llevadas a cabo en estos últimos años permiten actualmente abordar métodos para la explotación racional.

Esta tesis consiste en el estudio hidrogeológico del valle de Cajamarca que se encuentra en la cuenca alta del río Cajamarquino, específicamente en los Distritos de Cajamarca y Los Baños del Inca, donde se determinó el potencial hídrico subterráneo del valle, para ello se provee con información de pozos de todo el valle, con los niveles freáticos se hicieron mapas de isopiezas las cuales nos indican que la alimentación de acuífero se produce por la lluvia en las partes altas, posteriormente se identificó los pozos donde se realizara pruebas de bombeo, las cuales determinarían las características hidrogeológicas del acuífero.

En los últimos años el agua superficial se ha degradado tanto en calidad y cantidad principalmente en la época seca, como consecuencia la población se ha visto en la necesidad de utilizar otras fuentes de este recurso, como son las aguas subterráneas, esto ha originado que el acuífero este siendo explotado constantemente y originándose la extracción de los depósitos subterráneos, lo cual ha generado una gran preocupación, por su explotación en forma desordenada y sin supervisión de ninguna entidad, por ello es sumamente importante la estimación del potencial hídrico subterráneo, para poder establecer diferentes restricciones para su uso, tanto técnico, económico, social y ambiental, por el deterioro y escasez constante en la que puede verse afectado.

Sabiendo que la zona de estudio y en forma específica en el Valle de Cajamarca, existe mucha demanda de agua, generando con ello la necesidad de conocer las características hidrogeológicas para estimar su almacenamiento, tenemos la siguiente pregunta.

¿Cuál es la disponibilidad de agua subterránea en el Valle de Cajamarca?

De acuerdo al presente estudio suponemos que es posible estimar el potencial hídrico subterráneo del valle de Cajamarca.

La estimación del potencial hídrico subterráneo del valle de Cajamarca es de vital importancia para tener un modelo de planificación sostenible por parte de las autoridades u otras instituciones, que garantice la preservación de este recurso y una forma de calcularlo es, conociendo los parámetros hidrogeológicos del acuífero.

El área de influencia para el estudio que se propone, corresponde a los distritos de Cajamarca con 19 pozos; los baños del inca con 13 pozos; Llacanora con 7 pozos y Jesús con 3 pozos, totalizando 43 pozos para el estudio de investigación. Para su estudio, se contempla 04 pozos para determinar los parámetros hidrogeológicos.

Las limitantes que se tuvo para el desarrollo de la investigación fue la restricción de la información para la recopilación de datos, en la mayoría de pozos privados localizados en el área de estudio.

El objetivo principal por la cual se desarrolla la presente investigación, es el siguiente:

- Estimar el potencial hídrico subterráneo del valle de Cajamarca – Cajamarca.

Los objetivos secundarios son los siguientes:

- Identificar las fuentes de agua subterránea en la zona de estudio.
- Construir la red de flujo de los pozos inventariados en el valle.
- Determinar las características hidrogeológicas de los pozos en estudio.
- Determinar las relaciones entre la conductividad hidráulica y la porosidad efectiva

Los contenidos a desarrollar se muestran a continuación:

- Capítulo II: Marco Teórico, en este capítulo encontramos los antecedentes que sirvieron de referencia para el planteamiento del problema, bases teóricas y definiciones básicas.

- Capítulo III: materiales y métodos, en el cual se detalla el área de estudio, material recopilado y el procedimiento de la investigación.
- Capítulo IV: Análisis y Discusión de los resultados, en este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos de la evaluación en campo, presentando en figuras y cuadros.
- Capítulo V: Conclusiones o Recomendaciones, después del análisis correspondiente, finalmente se presentan las conclusiones en orden a los objetivos específicos y las recomendaciones de acuerdo al propósito de la investigación.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

En el valle de Cajamarca, no se ha encontrado estudios similares, sin embargo se han encontrado documentos que pueden aportar al desarrollo de esta investigación, a continuación se presenta algunos estudios relacionados al tema a desarrollar.

En el 2004, se ha desarrollado una investigación “Estudio de la Dirección del Flujo de Aguas Subterráneas en el Fundo la Victoria” a cargo del Ingeniero Luis Andrés León Chávez, quien concluyó que la dirección de flujo es similar a la topografía; esta información es muy importante para la investigación a realizar.

En el 2009, se ha desarrollado un estudio “Estudio de factibilidad - Presa río Chonta”, a cargo del CONSORCIO SALZGITTER – SISA, quien concluyó que los valores de conductividad hidráulica para dos pozos que se ubican dentro del área de estudio a 5 y 48 metros de profundidad, y cuyos resultados son $K = 0.60$ m/día, y $K = 0.83$ m/día.

En el 2015, se desarrollado un estudio “Evaluación de recursos hídricos en la cuenca del criznejas” a cargo de la autoridad nacional del agua (ANA), quien concluyo que, para un área de 117.5 Km² y una porosidad eficaz de 6.5%, el volumen de agua subterránea es 420 hm³, conductividad hidráulica de $K = (10^{-3} - 10^{-4})$ m/día, y un coeficiente de almacenamiento $S = 0.06$ respectivamente.

2.2. Bases teóricas

Origen de las aguas subterráneas.

Es el agua que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático. Las aguas subterráneas provienen de la infiltración directa en el terreno de las lluvias, nieves, o indirectas de ríos o lagos. (Mogg, 1971)

El agua subterránea es considerada frecuentemente una fuente inagotable, pero recientemente las circunstancias indican que el agua subterránea es muy vulnerable a la contaminación y a su desaparición. En el sureste, la contaminación es la mayor amenaza. Se han encontrado contaminantes que amenazan a la salud de las personas en la mayoría de las reservas de agua subterránea de la región. Podría ser muy costoso el remover

algunos de estos contaminantes, por lo cual el agua resulta virtualmente inservible por varios debido a esta amenaza, es importante entender el proceso mediante el cual el agua subterránea se hace disponible para su uso y como las actividades humanas algunas veces ponen en peligro este recurso. (Montaño X. J, 2012)

Zona no saturada

En esta zona no saturada del suelo es donde se manifiestan multitud de procesos biológicos y químicos y que se sitúa entre el suelo y los acuíferos. Es la zona, en donde encontramos agua higroscópica (adherida en una capa delgada alrededor de los granos del suelo) y agua capilar (tensión capilar) ubicada en los poros más pequeños en una franja que comprende la región por encima del nivel freático. El elemento variante más importante del suelo en la zona no saturada es por lo tanto el agua capilar. El agua en tránsito dentro de los intersticios más gruesos del suelo es el agua llamada gravítica o gravitacional y se encuentra mayormente en la zona de saturación. (Pérez F. D, 1995)

Zona saturada

En esta zona todos los poros interconectados se encuentran llenos de agua y sujetos a presión hidroestática. La recarga de la zona saturada ocurre por infiltración y posterior percolación del agua desde la superficie terrestre, a través de la zona no saturada (Chávez, 2005).

Formaciones geológicas

Las formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua subterránea pueden clasificarse de la siguiente manera:

Acuíferos: se puede definir como toda formación geológica que almacena y permite la circulación de agua en el suelo a través de sus poros y/o grietas. Pueden ser muy variados y formarse por materiales que van desde las gravas de río a las calizas altamente fracturadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas, etc. (Custodio & Llamas, 1983)

Acuícludos: es una formación geológica que contiene agua pero que no la transmite con la rapidez suficiente para proveer un abastecimiento significativo a un pozo o a un manantial. Estos son los depósitos de arcillas que retienen gran cantidad de agua pero, no la drenan por gravedad ni succión con facilidad. (Collazos C. M., 2012)

Acuífardos: Son formaciones geológicas semipermeables, capaces de transmitir las cantidades de agua que almacenan aunque muy lentamente, bajo determinadas condiciones, permiten la recarga vertical de otros acuíferos. Será el caso de depósitos de limos y arcillas arenosas, areniscas y rocas compactas con alteración y/o fracturación.. (Collazos C. M., 2012)

Acuífugos: Son formaciones geológicas con porosidad nula en donde no es posible el almacenamiento de agua ni su flujo. Esto es el caso de los macizos graníticos o rocas metamórficas sin apenas meteorización ni fracturación. (Collazos C. M., 2012)

Tipos de acuíferos

Los acuíferos pueden ser ordenados en función de diferentes criterios. De esta manera pueden ser clasificados según:

- El grado de confinamiento
- Los materiales litológicos que forman el acuífero
- La permeabilidad

A continuación se describen las diferentes tipologías de acuíferos ya que resultará muy importante su caracterización en el estudio hidrogeológico de una cuenca.

El grado de confinamiento

Según el grado de confinamiento de las aguas que contienen los acuíferos, pueden clasificarse en cuatro tipos:

➤ **Acuíferos libres, freáticos o no confinados**

Es aquel acuífero que presenta una superficie libre de agua, nivel freático, sujeta a la presión atmosférica. El esquema del acuífero es muy simple formado por un estrato permeable de saturado que descansa sobre otro impermeable. El nivel freático coincidirá en este caso con el nivel piezométrico, es decir, el nivel ideal que alcanzaría el agua a presión atmosférica. (Pérez F. D, 1995)

➤ **Acuíferos confinados, cautivos o a presión**

Se trata de una formación geológica completamente saturada de agua que se encuentra confinada entre dos estratos impermeables. La presión en esta zona intermedia es superior a la atmosférica de manera que, tras una perforación, el agua asciende hasta una altura que define el nivel piezométrico. Si este nivel quedara por encima de la cota del terreno se habla de pozos surgentes mientras que si queda por debajo se habla de pozo artesiano. (Pérez F. D, 1995)

Figura 1: Pozos surgentes y no surgentes



Fuente: (Espinoza, 2004)

➤ **Acuíferos semiconfinados**

A diferencia de los acuíferos confinados, éstos están limitados en su parte superior por una capa semipermeable (acuitardo) y en su parte inferior por una capa impermeable o por otro acuitardo. En estos acuíferos una disminución en su carga piezométrica supondría la recarga del acuífero por parte del acuitardo. Pérez, F. D. (1995).

➤ **Acuíferos semilibres**

Supone una situación intermedia entre un acuífero libre y uno confinado. Es el caso de acuíferos formados por granos gruesos limitado en la parte inferior por una superficie impermeable y por la parte superior por una formación de granos finos con conductividad hidráulica saturada inferior a la del acuífero. (Pérez F. D, 1995)

➤ **Acuífero colgado**

Se produce cuando existe una capa de material impermeable por encima de un nivel freático de manera que se produce una “bolsa de agua” de extensión limitada. Por lo general, cuentan con pocos recursos.

Los materiales litológicos que forman el acuífero.

Según los materiales litológicos que forman los acuíferos se puede encontrar en uno de los siguientes grupos:

➤ **Acuíferos formados por depósitos no consolidados**

Se forman por materiales sueltos como arenas o gravas de origen geológico muy diverso (fluvial, deltaico, y otros depósitos sedimentarios). Los acuíferos en este tipo de materiales forman el 90 % de los acuíferos de explotación del mundo. Tienen por lo general buena recarga y su permeabilidad y porosidad son altas y por tanto proporcionan mayores caudales (Millares, 2006).

➤ **Acuíferos formados por rocas consolidadas**

Se forman por materiales consolidados de origen geológico muy diverso; calizas y dolomías fracturadas o karstificadas, conglomerados y areniscas disueltas, rocas volcánicas alteradas o rocas cristalinas como los granitos fracturados (Millares, 2006).

Permeabilidad del acuífero

➤ **Acuíferos fisurados o kársticos**

Son aquellos en los que el agua circula a través de las fisuras y las grietas de materiales como calizas y dolomías. El flujo se produce a través del sistema de grietas creadas en cada sistema siendo significativamente diferente al flujo en un medio poroso. En ocasiones se forman auténticos ríos subterráneos (Millares, 2006).

➤ **Acuíferos detríticos o porosos**

Aquí el agua circula a través de los poros existentes en un volumen de arena o grava en donde el flujo se realiza en un medio poroso. Este tipo de acuíferos son típicos en zonas cercanas a las montañas, conos de deyección y otras formaciones geológicas sedimentarias (Millares, 2006).

➤ **Acuíferos mixtos**

Es el caso de la combinación de los dos tipos de materiales anteriores.

Parámetros hidrogeológicos de los acuíferos.

Estos parámetros parten de conceptos básicos en el conocimiento del medio poroso condicionando el flujo y son esenciales en la configuración de los modelos hidrogeológicos (Espinoza, 2004). A continuación se describen los más importantes.

➤ **Transmisividad (T)**

La transmisividad o transmisibilidad de un sistema acuífero, es la que mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero, con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario). Se obtiene haciendo el producto del espesor saturado, b , y su conductividad hidráulica, K , y tiene dimensiones de $[L^2T^{-1}]$ (Espinoza, 2004).

La ecuación de Theis - Jacob, se basa en determinar la Transmisividad en función del caudal de bombeo y la Pendiente de la recta tiempo – abatimiento (rebatimiento).

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{c} \quad (1)$$

Donde:

T: Transmisividad ($m^2/día$)

Q: Caudal de bombeo constante ($m^3/hora$)

C: Pendiente de la recta tiempo – abatimiento (rebatimiento), en un ciclo logarítmico. (m).

➤ **Conductividad hidráulica (k)**

También llamada permeabilidad hidráulica. Corresponde al coeficiente de permeabilidad que describe la ecuación de la Ley de Darcy y representa la capacidad de un medio poroso para permitir el movimiento del agua a través de él por unidad de área transversal. Tiene dimensiones de velocidad $[LT^{-1}]$ (Vélez, 1999).

Cuadro 1: Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos.

TIPO DE SUELO	K (cm/seg)	K (m/día)
Grava mal graduada (GP)	>1	>864
Grava uniforme (GP)	$2 \times 10^{-1} - 1$	172.8 - 864
Grava bien graduada (GW)	$5 \times 10^{-2} - 3 \times 10^{-1}$	43.2 - 259.2
Arena uniforme (SP)	$5 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-1}$	4.32 - 172.8
Arena bien graduada (SW)	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-1}$	0.864 - 86.4
Arena limosa (SM)	$1 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-3}$	0.864 - 4.32
Arena Arcillosa (SC)	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	0.0864 - 0.864
Limo de baja plasticidad (ML)	$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$	0.0432 - 0.0864
Arcillas de baja plasticidad (CL)	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-8}$	0.00864 - 0.00000864

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

Cuadro 2: Valores del coeficiente de permeabilidad.

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

Fuente: (Gonzales T. C, 2007)

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

Métodos de laboratorio:

- Permeámetro de carga o altura constante.

- Permeámetro de carga variable.

Métodos de campo:

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

➤ **Prueba de bombeo.**

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

Cuadro 3: Clasificación de la conductividad hidráulica

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

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

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

Cuadro 4: Intervalos de la conductividad según la textura y estructura del suelo que conforma.

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

Franco arcillo, arcilloso mal estructurado	0.02 – 0.2
Arcilla compacta	<0.002

Fuente: Martínez, B. J. (1986).

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

Cuadro 5: Clasificación de la conductividad hidráulica según su rapidez.

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

Fuente: (Villón B. M, 2004)

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

En el caso de la permeabilidad se determina mediante la fórmula:

$$K= T/E \tag{2}$$

Donde:

K: Permeabilidad (m/día), K: Transmisibilidad (m²/día), E: Espesor del acuífero saturado (m)

➤ **Coefficiente de almacenamiento (S)**

Es el volumen de agua cedida o tomada del almacenamiento del mismo, por unidad de área transversal cuando se produce un cambio unitario de carga, en los acuíferos de nivel freático, S es equivalente al rendimiento específico del material desecado durante el bombeo. El coeficiente de almacenamiento es un término adimensional. (Johnson. D, 1975)

Cuadro 6: Valores de coeficiente de almacenamiento

Acuífero	Coefficiente de Almacenamiento
Freático o libre	0.01 – 0.35
Cautivo	0.00001 – 0.001

Fuente: (Johnson. D, 1975)

➤ **Porosidad (m)**

La porosidad es una medida del espacio intersticial de una roca y por consiguiente, de la cantidad de fluido que el medio puede almacenar. En otras palabras mide el volumen relativo de los poros o vacíos en una formación geológica cualquiera. En materiales granulares, depende del tipo de arreglo de empaque, de la forma de los granos y de la distribución de tamaño de los granos. La porosidad de una roca es igual a la suma del rendimiento específico (S_y) y la retención específica (S_r) (Vélez, 1999).

➤ **Porosidad efectiva (m_e)**

La parte más importante desde el punto de vista hidrogeológico es la porosidad eficaz (m_e) que mide la cantidad de agua que el acuífero puede liberar por acción de la gravedad, es decir el agua útil o realmente explotable (Vélez, 1999). En un acuífero libre $S = m_e$ ya que el agua ocupa los huecos o espacios.

La porosidad efectiva de un determinado tipo de suelo es igual a la razón entre el volumen de poros interconectados que sean suficientemente grandes para contener moléculas de agua y el volumen total de suelo o roca. En la práctica, la porosidad efectiva (m_e) de arenas y gravas puede ser considerada equivalente al valor del rendimiento específico S_y ,

o bien equivalente a la diferencia entre la porosidad total m_e y la retención específica S_r . (Tood y Mays, 2004).

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

Cuadro 7: Intervalos de porosidad representativa para materiales sedimentarios.

MATERIAL	POROSIDAD %
Suelos	50 – 60
Arcilla	45 – 55
Limo	40 – 50
Arena uniforme	30 – 40
Grava	30 – 40
Grava y arena	20 – 35
Areniscas	10 – 20
Pizarra	1 – 10
Caliza	1 – 10

Fuente: (Máximo B. M, 2013)

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

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

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

Cuadro 8: valores de la porosidad drenable en relación con la textura y estructura del suelo (FAO 1980).

Textura	Estructura	Poros drenable (%)
Arcillosa Franco – arcillosa densa	Columna, aglomerada muy fina	1 – 2
Arcillosa Franco – arcillosa Arcillosa – limosa Franco arcillo – arenosa	Prismática muy fina o fina en bloque angulares o laminar	1 – 3
Arcillosa Arcillo-limosa Franco-arcillo-limosa Franco-arcillosa Franco-limosa Limosa Franco-arcillo-arenosa	Prismática fina y mediana en bloques angulares y laminar	3-8
Franco-arcillosa poco densa Limosa Franco-limosa Franco-arenosa muy fina Franca	Prismática mediana y en bloques subangulares	6-12
Franco-arenosa fina Franco-arenosa	En bloques subangulares gruesos y granular, migajón fina	12-18
Arenosa-franca Arenosa-fina	Migajón mediana de grano suelto	15-22
Arenosa-media	De grano suelto	22-26
Arenosa-gruesa Grava	De grano suelto	26-35

Fuente: (Salgado S. L, 2001)

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

$$m_e = \sqrt{K} \quad (3)$$

Donde:

m_e = porosidad drenable (%)

K = conductividad hidráulica (cm/día).

➤ **Rendimiento específico (S_y)**

Corresponde a la razón entre el agua que drena gravitacionalmente desde una roca o suelo saturado y el volumen total, también llamada capacidad específica. Orozco (2009)

➤ **Retención específica (S_r).**

Se define como la razón entre la cantidad de agua que un volumen de suelo es capaz de retener en contra de la gravedad y el volumen total de suelo. Orozco, (2009)

Ley de Darcy

Darcy en 1856, expresó la ecuación fundamental del flujo en medio saturado homogéneo e isótropo. Esta ley tiene la siguiente expresión vectorial:

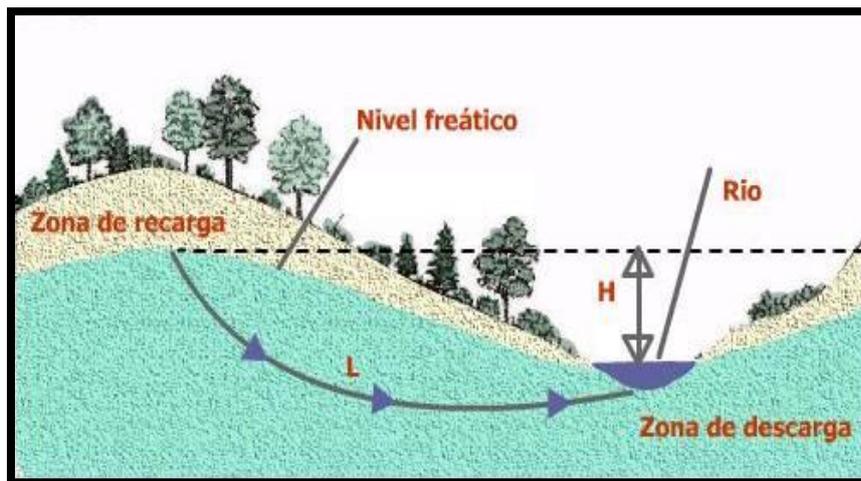
$$v = -K \text{ grad } (h) \quad (4)$$

Donde:

grad (h): Gradiente de la cota piezométrica h, v: vector velocidad.

La ley de Darcy parte del principio de linealidad entre el gradiente hidráulico y el flujo con pendiente k. Esta linealidad se pierde a velocidades altas ya que las fuerzas inerciales no son despreciables frente a las viscosas y el fluido adquiere la condición de turbulento. En general se suele adoptar que la ley de Darcy es válida mientras el número de Reynolds (relación entre las fuerzas de inercia y las viscosas en un fluido en movimiento) sea menor que 4 ($R < 4$) (Millares, 2006).

Figura 2: Aplicación de la ley de Darcy



Fuente: (Vélez, 1999)

Red de flujo

Una red de flujo puede concebirse como un enrejado de dos familias de líneas mutuamente ortogonales las equipotenciales (líneas de igual carga) y las líneas de flujo o líneas de corriente (trayectoria de las partículas de agua), están dispuestas de tal manera que, como regla, las líneas de corriente acaben en líneas equipotenciales, y viceversa, delineando, en parte, el dominio del movimiento. La excepción a esta regla aparece cuando se presenta una superficie de rezume. Para poder elaborar una red de flujo es preciso que el movimiento satisfaga los criterios de independencia del tiempo y de homogeneidad, que tenga lugar paralelamente al plano de la red que, tenga validez de la ley de Darcy.

Las redes de flujo pueden construirse tanto para el estudio del movimiento en una sección vertical como en un plano horizontal. La mayoría de sus aplicaciones corresponden al estudio de la filtración a través de diques, presas y estructuras similares, estas redes suelen corresponder a secciones verticales. También pueden elaborarse redes para el estudio de movimientos horizontales utilizando mapas de isopiezas (STANLEY, N. 2009).

➤ Líneas equipotenciales

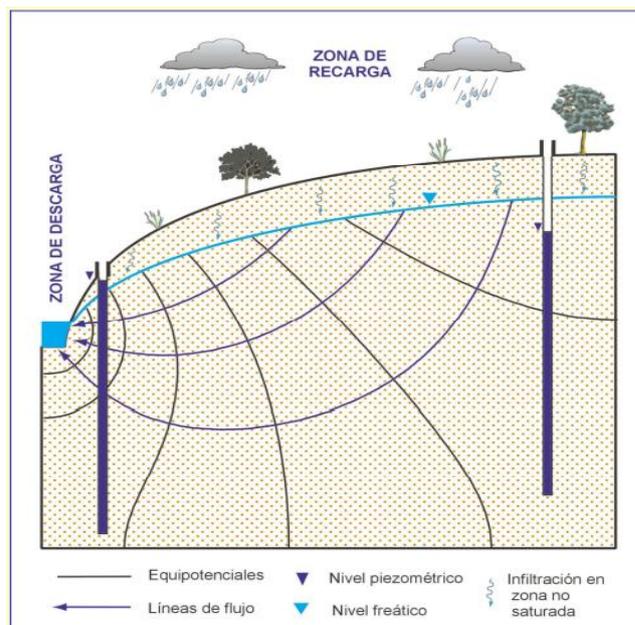
Se denomina líneas equipotenciales cuando se habla de un sistema unidimensional o bidimensional, pero si se trata de un sistema tridimensional se denomina superficies equipotenciales, y son el lugar geométrico de los puntos que tienen el mismo potencial hidráulico. Se trata de superficies o líneas en las que el agua subterránea tiene la misma energía en todos sus puntos, (MARTINEZ, A. 2006).

➤ Líneas de flujo

Se llama línea de flujo o línea de corriente, a la línea que constantemente es tangente al vector velocidad definido en un medio poroso a partir de la ley de Darcy. Matemáticamente sería la envolvente del vector velocidad. Una trayectoria sería una línea, más o menos tortuosa, que constituiría el lugar geométrico de las sucesivas posiciones de una partícula de agua en su movimiento a través de un medio poroso. (MARTINEZ, A. 2006).

Otra definición más sencilla, nos dice que son curvas que presentan de forma idealizada el itinerario seguido por las partículas de agua en su movimiento a través del medio saturado.

Figura 3: Red de flujo.



Fuente: Yelamos y Villarroba, 2008

Geología regional

La geología de la región es muy compleja y las unidades litoestratigráficas se modifican y adaptan a los estudios geológicos más recientes y a la cartografía a menor escala, que permite definir nuevas unidades o agrupar otras que anteriormente fueron consideradas independientes (ANA, 2015).

Las distintas litologías se asocian a la evolución sedimentaria y estructural en el paleo-ámbito de la cuenca. A finales del Jurásico, se inició en la zona andina la formación de una cuenca al oeste que fue cubierta por el mar y al este un geoanticlinal que no fue cubierto, depositándose en la cuenca más de 1000 m. de sedimentos Chicama, no así sobre el Geoanticlinal (ANA, 2015).

Ambas formas siguieron desarrollándose durante el Cretácico Inferior, depositándose casi exclusivamente sedimentos clásticos, representados por 1500 m. en la paleo cuenca (Grupo Goyllarisquizga). Si bien el mar cubría algunos sectores, éste no fue profundo, por lo que casi toda la acumulación clástica es deltaica o playera a excepción de las calizas de la formación Santa, que sí representan una considerable profundización de mar, mientras que la plataforma permaneció prácticamente emergida (ANA, 2015).

A finales del Cretácico Inferior, la cuenca y plataforma empezaron a hundirse, invadiendo decididamente el mar a la cuenca y en forma progresiva al geoanticlinal. En estas circunstancias, se depositaron los niveles calcáreo-arenosos de la formación Inca, seguido de las calizas Chulec y Pariatambo dentro de la paleo cuenca (ANA, 2015).

El mar cubrió totalmente la región llegando hasta el oriente peruano, condiciones que subsistieron hasta finales del Cretácico Superior, en cuyo lapso se depositaron rocas calcáreas de las formaciones Yumagual, Mujarrúm, Quilquiñán, Cajamarca y Celendín (ésta última con bastante contenido arenoso) llegando en su conjunto a un grosor de 1500 m. aproximadamente (ANA, 2015).

Después comenzó el levantamiento de grandes sectores de la cuenca y algunos de la plataforma, produciéndose una acumulación clástica en las partes bajas, especialmente sobre la plataforma (Formación Chota). Constituye el primer movimiento del Ciclo Andino, caracterizado por ser epirogenético, con poca deformación compresiva de los sedimentos (ANA, 2015).

El segundo movimiento del Ciclo Andino corresponde a la deformación compresiva

principal de los sedimentos de la cuenca en el área, y sucedió a comienzos del Terciario, después de la deposición de la formación Chota, plegándolos intensamente y ocasionando estructuras de corrimiento al nivel de las lutitas Chicama, sobre el flanco occidental del geoanticlinal del Marañón (ANA, 2015).

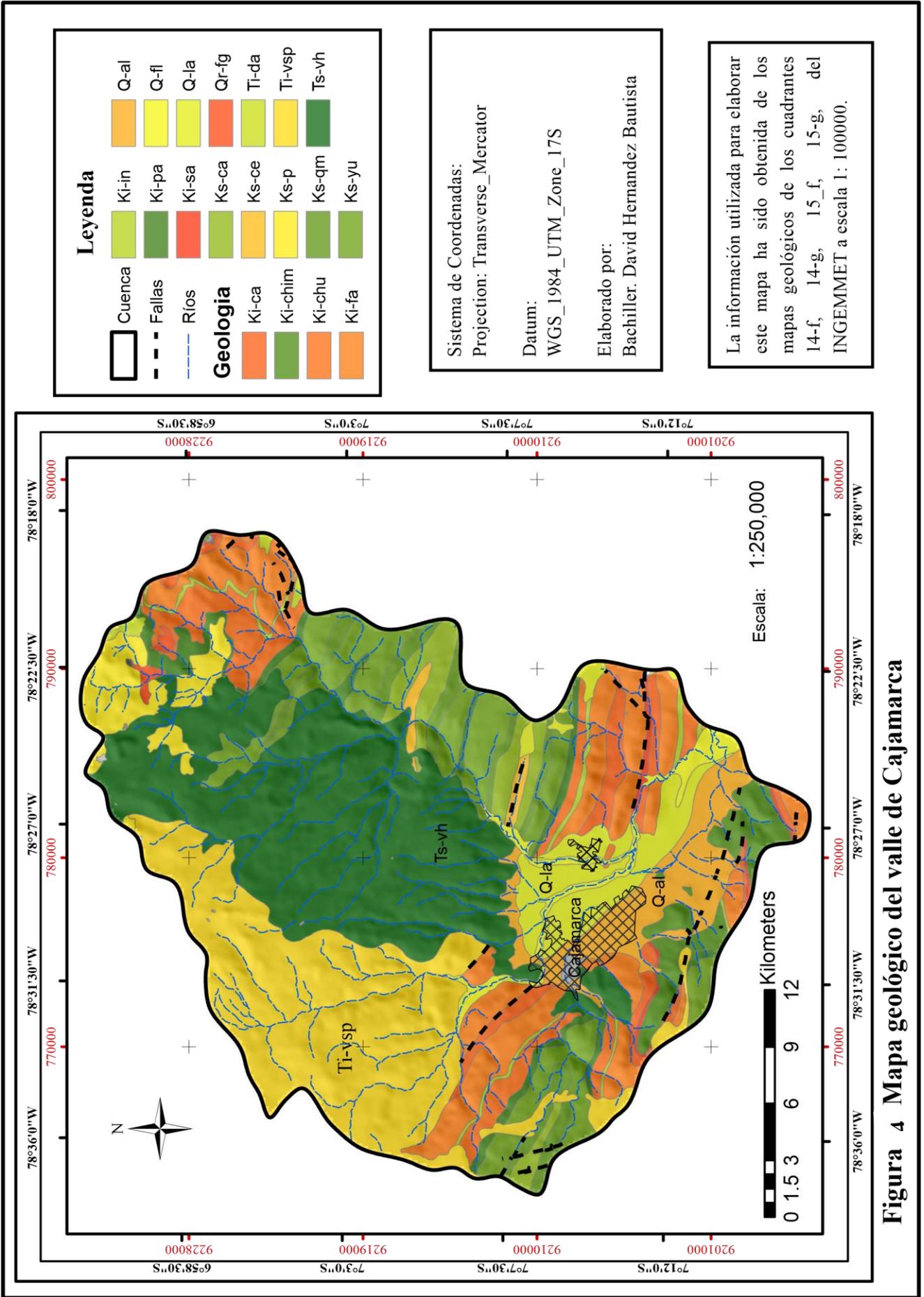
A la deformación de los sedimentos siguió una intensa etapa de erosión, acumulándose en las partes bajas, material mayormente conglomerático, seguido de una intensa actividad magmática efusiva e intrusiva durante el Terciario inferior y medio, representada por más de 2000 m. de rocas volcánicas del Grupo Calipuy, y los intrusivos terciarios (ANA, 2015).

El tercer movimiento deformatorio del Ciclo Andino ondula a las rocas volcánicas, y está relacionado con un fallamiento de alto ángulo en bloques y con las mineralizaciones polimetálicas (ANA, 2015).

Un intenso y largo periodo de peniplanización cíclica en el intervalo Oligoceno-Plioceno siguió a toda la actividad magmática-tectónica anterior, dando como resultado varias superficies de erosión a diferentes alturas, entre las cuales la primera es conocida como Superficie Puna, elevada más de 3000msnm de su posición original, ascenso que aún continúa en la actualidad, debido a lo cual se está produciendo la profundización de los valles, dando a la cadena andina una topografía accidentada (ANA, 2015).

Durante el periodo de ascensión de los Andes, se cubrió parte de la superficie con el volcánico Huambos y los sedimentos lacustres Cajabamba y Condebamba, que también fueron afectados por la reactivación de fallas (ANA, 2015).

Las partes altas de la cuenca fueron afectadas por la glaciación del Pleistoceno. Localmente, se localizan los vestigios que corresponden a los efectos de la última regresión de los glaciares (ANA, 2015).



Hidrogeología

El valle de Cajamarca formado por procesos tectónicos, glaciares, lacustres y fluviales, presenta la forma de una cubeta rodeada de altos cerros, cubiertos de vegetación y con afloramientos de manantiales. Los sucesivos movimientos tectónicos sobre todo compresivos que se tradujeron en fallamientos en bloques y estructuras ondulantes, han originado condiciones (geológicas e hidráulicas) favorables para el flujo de aguas subterráneas en las rocas precuaternarias, ampliamente distribuidas en la cuenca Crisnejas (ANA, 2015).

➤ **Acuífero detrítico poroso no consolidado**

Son acuíferos con porosidad elevada y permeabilidad elevada, generalmente son continuos y extensos. Los más representativos son los depósitos aluviales y fluviales, incluyendo llanuras de inundación y terrazas aluviales. La clasificación se debe a su alta permeabilidad y porosidad primaria. Su composición litológica no consolidada facilita la libre circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas (ANA, 2015).

➤ **Acuífero detrítico poroso no consolidado pobre**

Son generalmente de reducida extensión y poco espesor, con permeabilidad media-baja; depósitos glaciares y morrenas, constituidos por bloques y conglomerados en una matriz arcillo limosa, que limita la permeabilidad de los materiales y depósitos de origen lacustre, constituidos principalmente de limos y arcillas con intercalaciones arenosas. Los depósitos lacustres recientes se ubican en las pequeñas cuencas interandinas, en dimensiones reducidas. Se encuentra entre el pueblo de Cajamarca y los Baños del Inca. Constituidos por material fino arcilloso, con intercalaciones locales de lentes de gravas y delgados conglomerados (ANA, 2015).

➤ **Acuífero fisurado volcánico sedimentario**

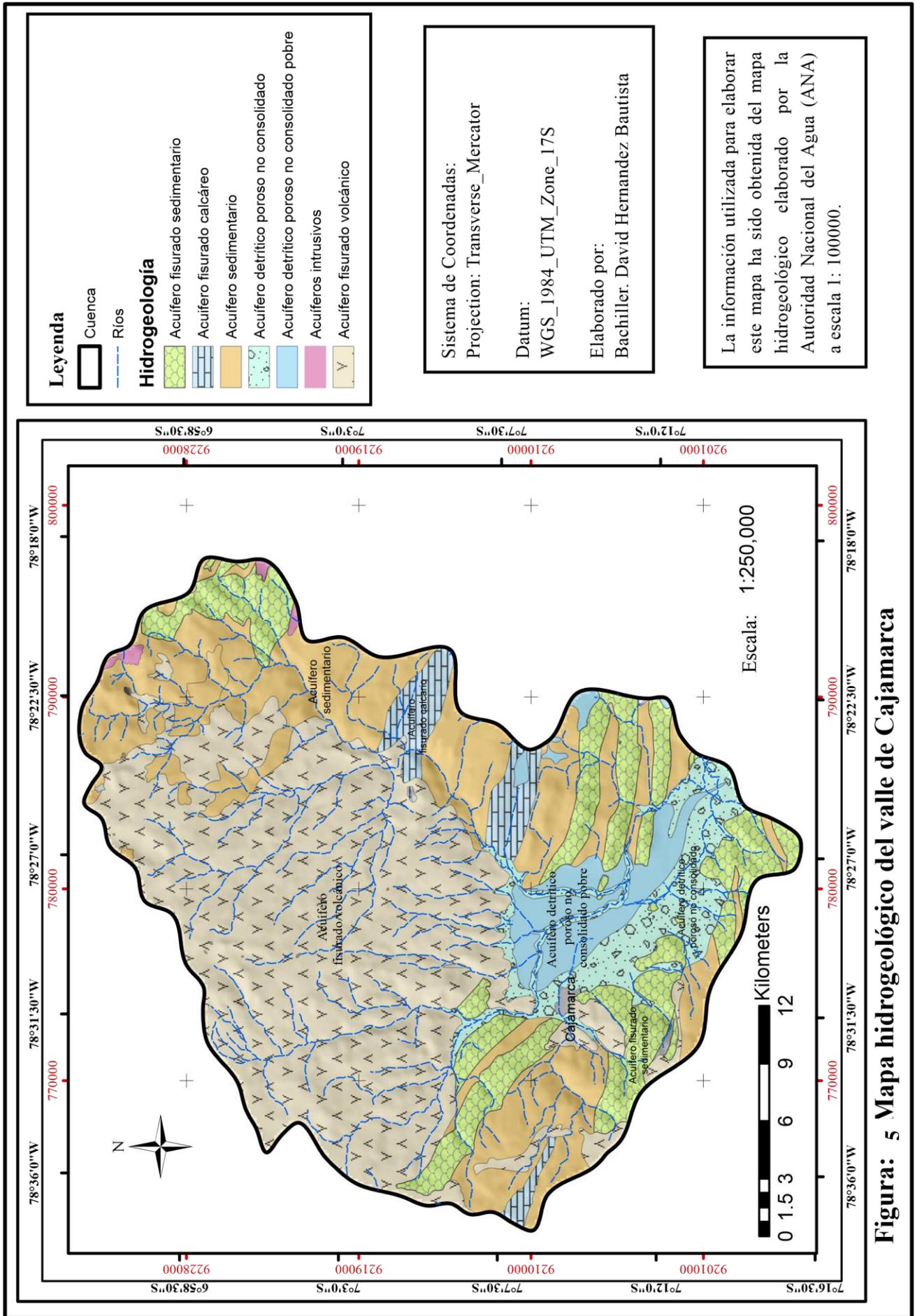
Corresponden a unidades geológicas consolidadas con permeabilidad secundaria moderada, asociada principalmente a fracturas y fallas, donde se encuentran las aguas subterráneas. Litológicamente se trata de intercalaciones de conglomerados y areniscas con lavas y piroclastos. (ANA, 2015).

➤ **Acuífero fisurado sedimentario**

Son unidades sedimentarias que se han clasificado como: potenciales acuíferos fisurados sedimentarios son algunas formaciones del Grupo Goyllarisquizga: Inca (alternancia de areniscas calcáreas, lutitas y lechos de cuarcitas), Farrat (cuarcitas y areniscas) y Chimú (alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas). Ampliamente distribuidas en toda la cuenca, estas unidades hidrogeológicas son las predominantes en la Faja plegada Subandina. Estas formaciones aparecen intensamente falladas y plegadas Las estructuras siguen alineaciones NO-SE, con tendencia N-S en la parte oriental de la cuenca (ANA, 2015).

➤ **Acuífero fisurado calcáreo**

Son fundamentalmente calizas con intercalación de margas, con permeabilidad secundaria media-alta, por fracturas o procesos de disolución, bien sea del cemento calcáreo o de las paredes de las fracturas en procesos de karstificación. Las Formaciones más representativas son La Formación Celendín y Formación Cajamarca. Estas unidades afloran entre Baños del Inca y Encañada, en Cachachi, al sur de San Marcos y al norte y este, en el tramo final del río Crisnejas en ambas márgenes (ANA, 2015).



Suelos de la región según su origen

En el presente estudio considerando los tipos de materiales parentales y condiciones fisiográficas de los suelos estudiados, se tienen los siguientes orígenes:

a. Suelos derivados de materiales residuales.

Son suelos de desarrollo in situ, formados principalmente a partir de rocas volcánicas, areniscas y calizas y en menor extensión a partir de lutitas, limonitas y pizarras; estos materiales, en partes se encuentran puros y en otros lugares están mezclados con depósitos de materiales detríticos finos y gruesos derivados de estas mismas rocas. (Poma & Alcántara, 2011).

b. Suelos de origen aluvio coluvial.

Son suelos desarrollados a partir de depósitos de materiales gruesos, de naturaleza volcánica, areniscas y calizas principalmente y en menor extensión derivadas de otros materiales parentales, como lutitas, limonitas y pizarras, originados como consecuencia de la deposición aluvio coluvial, producto de la escorrentía superficial ocurrido desde las partes altas de los principales cerros y laderas que dominan las cuencas de los diferentes ríos que constituyen la red hidrográfica del departamento, cuyo transporte y deposición ocurre durante el periodo de lluvias en la zona y complementados por la fuerza de la gravedad que da origen a la deposición coluvial en la parte baja de laderas y cerros conocidos como depósitos de pie de monte. (Poma & Alcántara, 2011).

c. Suelos de origen aluvial.

Son suelos desarrollados a partir de depósitos aluviales dejados por los principales ríos de la zona, localizados en pequeñas unidades constituidas por una asociación de depósitos aluviales y depósitos de material detrítico grueso de diferente naturaleza. La disposición de estos suelos aluviales se hace principalmente en forma de terrazas aluviales bajas, medias y altas, con características edáficas propias. Las terrazas bajas de inundación son susceptibles de ser inundadas durante el periodo de lluvias cuando existe crecida de los ríos, y son de calidad agrológica baja; las terrazas medias presentan alta calidad agrológica, no son susceptibles de inundación y presentan buenas características físicas, químicas y biológicas (Poma & Alcántara, 2011).

d. Suelos de origen fluvio glaciar.

Son todos aquellos suelos de orígenes fluvio glaciar localizados en faldas de los principales cerros del departamento, así como en planicies y pampas producto de las deposiciones de materiales detríticos finos y gruesos de diferente litología, provenientes de los principales cerros que dominan las principales cuencas del departamento. Estos materiales han sido arrastrados por las glaciaciones ocurridas en épocas geológicas pasadas, dejando como evidencias depósitos morrénicos, bloques erráticos, eskers y otras evidencias del pase del glaciar; de igual manera estos suelos son formados también por el arrastre de las aguas de escorrentía superficial durante el periodo de lluvias (Poma & Alcántara, 2011).

e. Suelos de origen fluvio glaciar y lacustre.

Son suelos desarrollados a partir de depósitos fluvio glaciares y lacustres, localizados en todos los valles interandinos del departamento, un claro ejemplo de estos suelos tenemos una gran unidad que forma el valle de Cajamarca; estos suelos están constituidos por depósitos de material detrítico fino proveniente de las laderas y faldas de los principales cerros que dominan las principales cuencas del departamento de Cajamarca, que son arrastradas por las aguas de escorrentía superficial durante el periodo de lluvias en la zona (Poma & Alcántara, 2011).

Términos básicos

Agua Subterránea: Es el agua que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico conocido como subsuelo comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático, que se encuentra en la zona de saturación y que alimenta pozos, manantiales y escorrentía subterránea.

Nivel de agua: Medición de la altura de una superficie líquida con respecto a un punto de referencia.

Capa freática: Superficie superior de la zona de saturación en las rocas permeables, que puede variar de acuerdo con la estación climática del año.

Acuífero: Estrato geológico que almacena y transmite agua en cantidad suficiente para ser aprovechado como recurso; encontramos diferentes tipos de acuíferos como: Acuífero libre o freático, acuífero confinado, acuífero semiconfinado, acuífero colgado.

Conductividad hidráulica: Factor que mide la resistencia de los materiales al libre flujo del agua, y puede definir el régimen de aguas subterráneas, concentración de corrientes, etc.

Perfil estratigráfico: Es aquel que se realiza a partir de datos de perforaciones, de datos de prospección geofísica, o bien de cortes naturales o artificiales del terreno que muestran las rocas que conforman la columna estratigráfica, mediante los cuales se puede reconstruir la estratigrafía del suelo.

Potencial hídrico: Hace referencia a la cantidad de agua que un cuerpo de agua puede liberar según un determinado uso, y en este caso se expresa como la diferencia entre el nivel dinámico de agua en el pozo y el nivel del fondo del mismo.

Estiaje: Nivel mínimo de caudal que alcanza un río, en este caso el pozo en estudio, cuando está próximo a finalizar su potencial hídrico.

Abatimiento: El abatimiento en un pozo significa el descenso que experimenta el nivel del agua cuando se está bombeando o cuando el pozo fluye naturalmente. O también la diferencia, medida en metros, entre el nivel estático y el nivel dinámico.

Abatimiento residual: Es la distancia a que el agua se halla por debajo del nivel inicial estático.

Nivel de bombeo: Este es el nivel a que se encuentra el agua dentro del pozo conforme el bombeo.

Capacidad específica: Es igual a la descarga por unidad de abatimiento, la cual se expresa por lo general en metros cúbicos por hora.

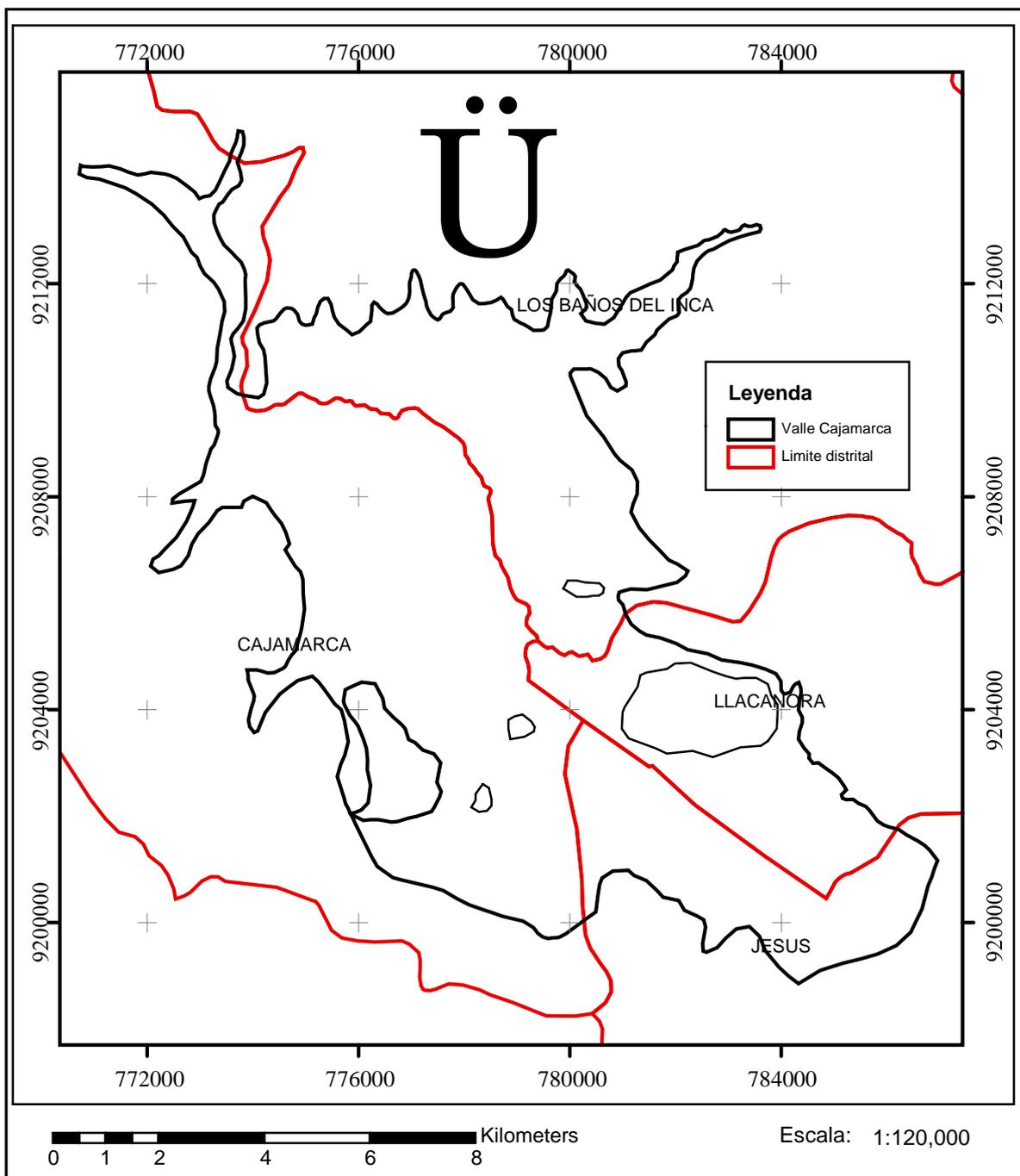
Rendimiento del pozo: Es el volumen de agua por unidad de tiempo que el pozo está descargando ya sea por bombeo o flujo natural y se expresa por lo general en metros cubico por hora.

CAPÍTULO III : MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se localiza en la región de Cajamarca, en la Provincia de Cajamarca, distritos de: Cajamarca, Los Baños del Inca, Llacanora y Jesús, en un área de 94.46 Km² (Figura 6).

Figura 6: Mapa político administrativo del valle de Cajamarca.



Fuente: Elaboración propia

Ubicación Política

REGION : Cajamarca

PROVINCIA : Cajamarca

DISTRITOS : Cajamarca, Los Baños Del Inca, Llacanora y Jesús.

3.2. Equipos y materiales utilizados durante la investigación.

Equipos de campo

- ✓ GPS diferencial
- ✓ Winchas de aceros de 5 m y 50 m.
- ✓ Formatos preparados para tomar datos.
- ✓ Plopper (ref: guía Australiana de aguas subterráneas)
- ✓ Sonda eléctrica (casera)
- ✓ Cámara fotográfica

Equipo de gabinete

- ✓ Una computadora CORE i3, una impresora Canon.
- ✓ Materiales de escritorio
- ✓ Software (Microsoft Word, Excel, ArcGis).

3.3. Material recopilado

Se recopiló la siguiente información cartográfica y topográfica.

- Se utilizó los mapas cartográficos 14G-Celendín, 14F-San marcos, 15G-Chota y 15F-Cajamarca a escala 1:100 000 proporcionados por la misma institución, (IGN-Perú), las cuales fueron digitalizadas con curvas cada 50 m. los mapas de redes hidrográficas y Distritales fueron elaborados en función de cartas digitalizadas y presentadas a escalas de 1:120 000 y 1:250000.
- Se utilizó los mapas geológicos 14G-Celendín, 14F-San marcos, 15G-Chota y 15F-Cajamarca a escala 1:100 000 proporcionados por la misma institución, (INGEMMET-Perú), las cuales fueron digitalizadas y presentadas a escalas de 1:120 000 y 1:250000.

- Se utilizó los mapas hidrogeológicos 14G-Celendín, 14F-San marcos, 15G-Chota y 15F-Cajamarca a escala 1:100 000 proporcionados por la misma institución, (INGEMMET-Perú), las cuales fueron digitalizadas y presentadas a escalas de 1:120 000 y 1:250000.
- Se delimitó la cuenca basada en el principio de la red de flujo, considerando que la línea divisoria de aguas es teóricamente una línea neutral de flujo.

3.4. Metodología

La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación comprende cuatro etapas principales consiste planteamiento y análisis de investigación, la segunda recopilación de información, tercero etapa de trabajo de campo, cuarto trabajo de gabinete y elaboración del informe final.

Inventario de fuentes de agua subterránea.

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

Proceso de inventario.

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

- a. Etapa de gabinete. En esta etapa se realizaron actividades preliminares útiles para el inventario tales como la recolección de información cartográfica cartas nacionales de la zona en una escala de 1:100000, 1:25000, planos existentes de trabajos anteriores.

Además de realizar un planeamiento del trabajo de campo, coordinaciones con los propietarios de los pozos, además de evaluar las vías de acceso a cada uno de los pozos.

b. Etapa de campo. En esta etapa comprende las siguientes actividades, mediciones y tomar los siguientes datos:

- La ubicación de las fuentes de agua subterránea (pozos) en coordenadas UTM georeferenciadas con GPS (sistema de posicionamiento geográfico).
- Medir el diámetro medio y radio medio de los pozos.
- Ubicación de la cota terreno.
- Profundidad máxima (cota fondo).
- Profundidad del nivel freático (cota del nivel freático).
- Año de construcción.
- Tipo de pozo (C° A, C° ciclópeo, artesanal).
- Tipo de perforación (tajo abierto).
- Entrevista con el propietario de cada pozo.
- Uso actual.
- Otros.

c. Etapa de gabinete. En esta etapa se procesara toda la información recopilada en la etapa preliminar y la etapa de campo a fin de obtener los cuadros de inventario de recursos hídricos, planos y croquis o esquemas de ubicación de los pozos, llegar a las conclusiones necesarias.

Lecturas del nivel freático.

Existen varios métodos para medir la profundidad de la napa freática, desde los más sofisticados sondaje hasta los más rudimentarios medida con palos, la elección del método de medida se adapta de acuerdo a las circunstancias y características del pozo, en el presente trabajo se utilizó el método Plopper, que consiste en preparar una wincha con un cono invertido en la parte inferior, y cuando encuentra el nivel del agua hace un sonido, luego se mide la profundidad a la cual se encuentra el nivel freático, este método se eligió porque se adapta a las condiciones de trabajo por lo que se tiene la seguridad de leer sin errores.

Construcción de planos isopiezas.

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

Para la elaboración de estos planos se toma en cuenta la cota del nivel freático, luego con estos datos se trazan las curvas de igual nivel a equidistancias que pueden variar de 0.50m a 10.00m entre línea y línea en el presente trabajo para elaborar estas planos se recurrió a la ayuda de programas tales como ArcGis, Autocad.

La construcción de estos planos nos permitirá determinar y calcular:

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

3.5. Determinación de la conductividad hidráulica

Prueba de bombeo

Cuando se bombea agua de un pozo, la cantidad que se obtiene inicialmente proviene de lo almacenado en el acuífero en la vecindad del mismo. Conforme continúa el bombeo, se va obteniendo más agua de la almacenada a distancias cada vez mayores del pozo de bombeo. (Johnson. D, 1975)

Un ensayo de bombeo es, en esencia, un método de análisis de los pozos de captación de aguas subterráneas y del acuífero en que se encuentran. Consiste en bombear los pozos, a caudal constante, siguiendo la evolución del nivel del agua, debido al bombeo. El estudio de las variaciones de los niveles es precisamente en lo que consiste el ensayo de bombeo y lo que permite obtener información del mismo pozo así como características y circunstancias del acuífero.

- a. Etapa de gabinete. En esta etapa se realizaron actividades preliminares útiles para las pruebas tales como realizar un planeamiento del trabajo de campo, coordinaciones con los propietarios de los pozos, además de evaluar las vías de acceso a cada uno de los pozos.

b. Etapa de campo. En esta etapa comprende las siguientes actividades, mediciones y tomar los siguientes datos:

- Ubicación de la cota terreno.
- Medir la profundidad del agua en los pozos.
- Profundidad máxima (cota fondo).
- Medir el nivel dinámico en intervalos de tiempo.
- Se determina el caudal de bombeo, por el método volumétrico.

c. Etapa de gabinete. En esta etapa se procesara toda la información recopilada en la etapa preliminar y la etapa de campo a fin de obtener los gráficos y tablas de registro de bombeo, llegar a las conclusiones necesarias.

Interpretación de los datos de prueba de bombeo y recuperación

En esta etapa se ha procesado la información de abatimiento vs tiempo y abatimiento residual versus tiempo, con lo cual se pudo identificar el sistema del acuífero según su comportamiento, comparado con las curvas teóricas para pruebas hidrodinámicas a caudal constante.

Para la determinación de la permeabilidad se usaron las siguientes ecuaciones, en dependencia de los tipos de acuífero.

El cálculo de las propiedades hidrogeológicas fue realizado mediante las ecuaciones de Theis y Jacob, para acuíferos libres haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

Determinación de la permeabilidad y transmisividad.

Con los datos de abatimiento y tiempo obtenidos mediante la prueba de bombeo se ploteó una gráfica a escala semilogarítmica encontrando en esta la pendiente de la misma.

Formula modificada de no equilibrio (Theis - Jacob)

$$T = 0.183Q/\Delta s$$

Dónde:

Q: Descarga del pozo de bombeo, en (m³/hr).

T: Coeficiente de Transmisividad, en (m³/hr/m).

Δs: Pendiente de la recta, que se expresa como la diferencia de abatimiento entre dos valores del tiempo cuya relación sea de 10 en la escala logarítmica (un ciclo logarítmico).

$$K = T/e$$

Donde:

e = espesor del acuífero

Determinación de la porosidad efectiva.

Los valores de porosidad son obtenidos a partir de la siguiente relación empírica desarrollada por Van Beers.

$$m_e = \sqrt{K}$$

Donde:

m_e = porosidad efectiva (%).

K=conductividad hidráulica (cm/día).

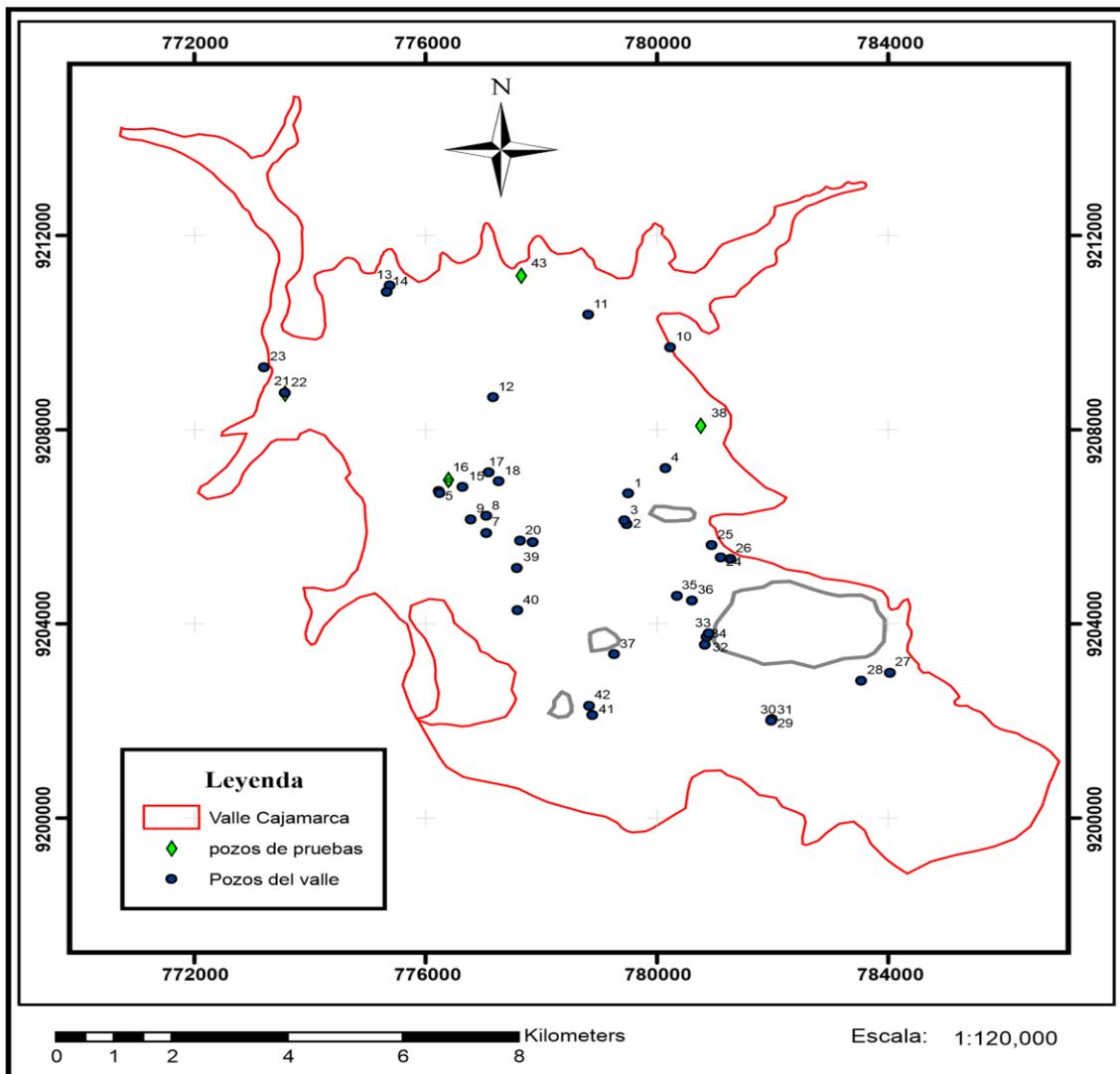
CAPÍTULO IV : RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Inventario de fuentes de agua subterránea

Se tomaron las características técnicas de los pozos su equipamiento, niveles de agua y caudales de producción, así mismo la información recolectada ha sido procesada y se detalla en cuadro 21, se puede apreciar que las fuentes de agua subterránea inventariadas son 43 pozos, que se muestran en la figura 07, siendo del tipo tubular y excavado. Los pozos tienen profundidades que varían entre 5m y 80 m.

Durante la visita de campo se pudo constatar que existe mayor número de pozos perforados y excavados estos no tienen registro de capacidad y tampoco parámetros hidráulicos.

Figura 7: Distribución de los pozos excavados del valle de Cajamarca.

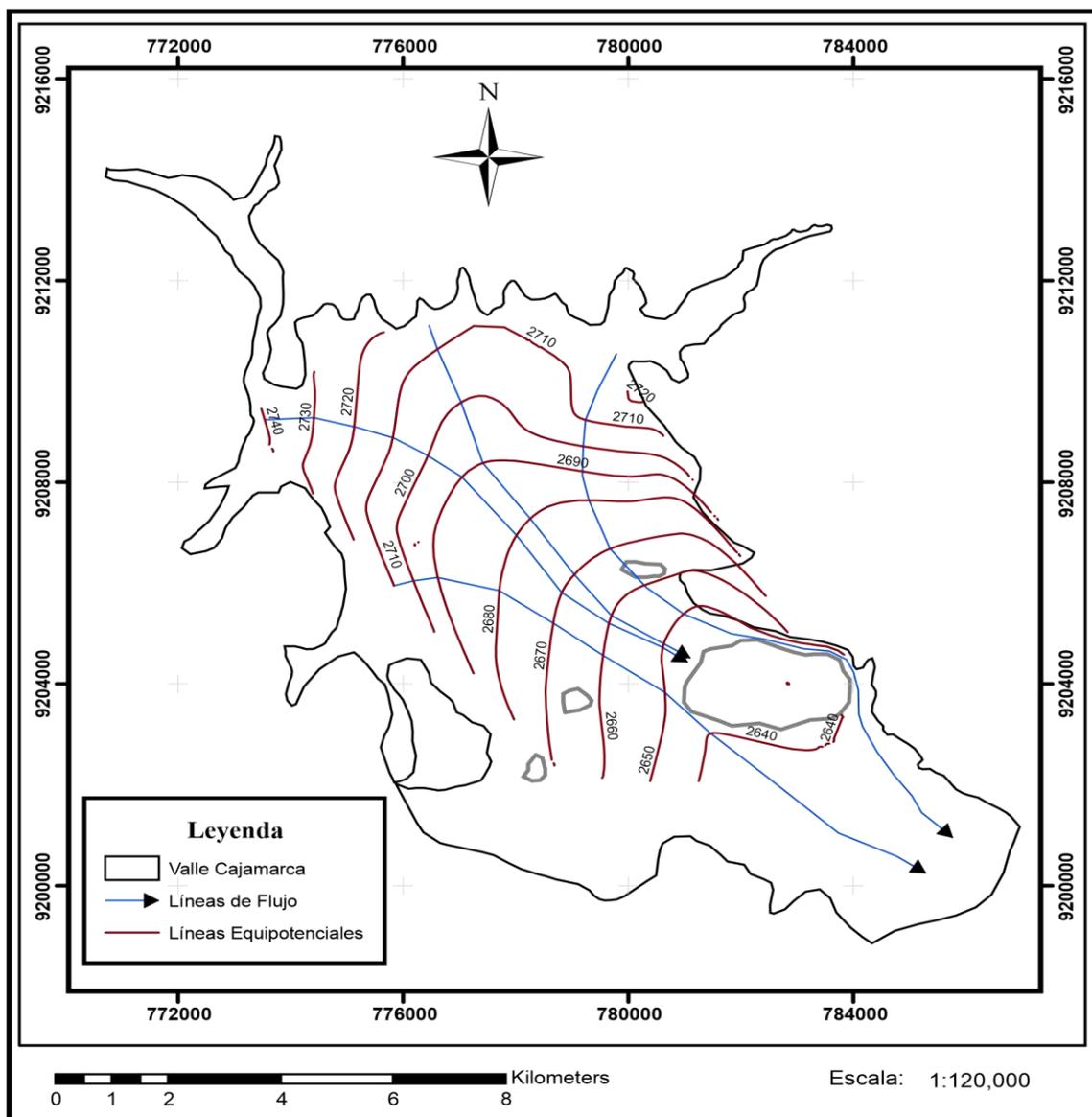


Fuente: Elaboración propia

Interpretación plano de isopiezas

Lo que ha permitido generar un mapa piezométrico y su dirección de flujo principal de aguas subterráneas, son las medidas de niveles freáticos. según el mapa de isopiezas las curvas de igual profundidad en el área delimitada para fines del presente trabajo, estas curvas isopiezas nos indican y muestran el escurrimiento subterráneo desde las partes altas hacia las partes bajas debido a la gravedad de la tierra ya que se trata de acuíferos libres, la dirección del flujo de acuerdo al análisis de las líneas isopiezas se observa que existe un flujo de entrada de gran magnitud el cual está en sentido perpendicular a las líneas equipotenciales originados principalmente por filtraciones de precipitaciones pluviales, asimismo estas líneas de flujo constituyen los ejes principales de flujo.

Figura 8: Mapa de isopiezas del valle de Cajamarca.



Fuente: Elaboración propia

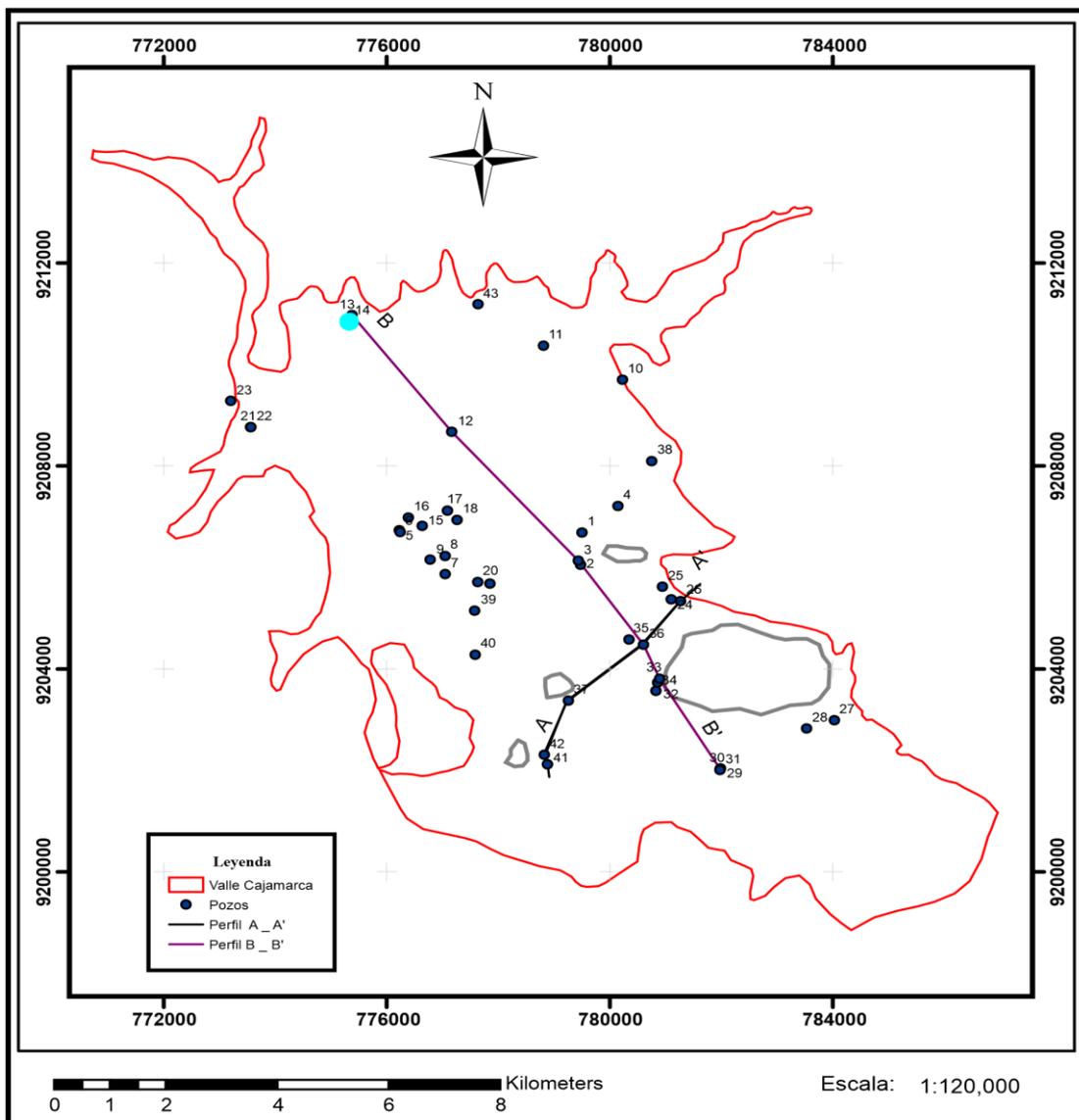
El mapa de isopiezas generado para el acuífero detrítico poroso del valle de Cajamarca, podemos observar que la dirección del flujo es al sur este, siguiendo la dirección del río principal del valle. Tenemos una zona del valle donde encontramos aguas subterráneas muy superficiales, generalmente en el lugar llamado Huacariz.

4.2. Características y parámetros hidrogeológicos del acuífero

Estratigrafía del valle de Cajamarca

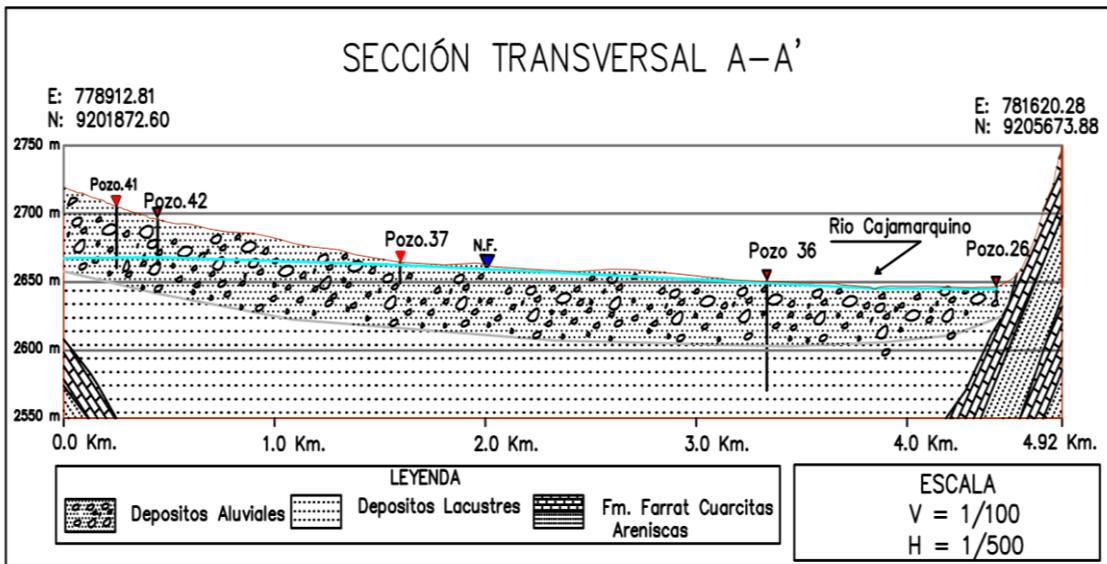
Estratigráficamente el valle del río cajamarquino, varía a lo largo y ancho, para obtener los diferentes materiales que han sido transportado desde las partes altas de la cuenca por erosión, con diferentes tamaños desde arcillas, arenas, gravas, volones esto hace que facilite el almacenamiento del agua subterráneas.

Figura 9: Mapa secciones transversales del valle de Cajamarca.



Se han proyectado los pozos en un perfil transversal al río (señalado en la Figura como línea A-A'). Se observa que el nivel freático es correlacionable en todo el ancho del acuífero, tanto en pozos someros como en pozos profundos y tanto en pozos ubicados en los depósitos aluviales de la margen derecha, como en los materiales superficiales de origen lacustre, que tapizan el aluvial en el sector que ocupan actualmente los ríos.

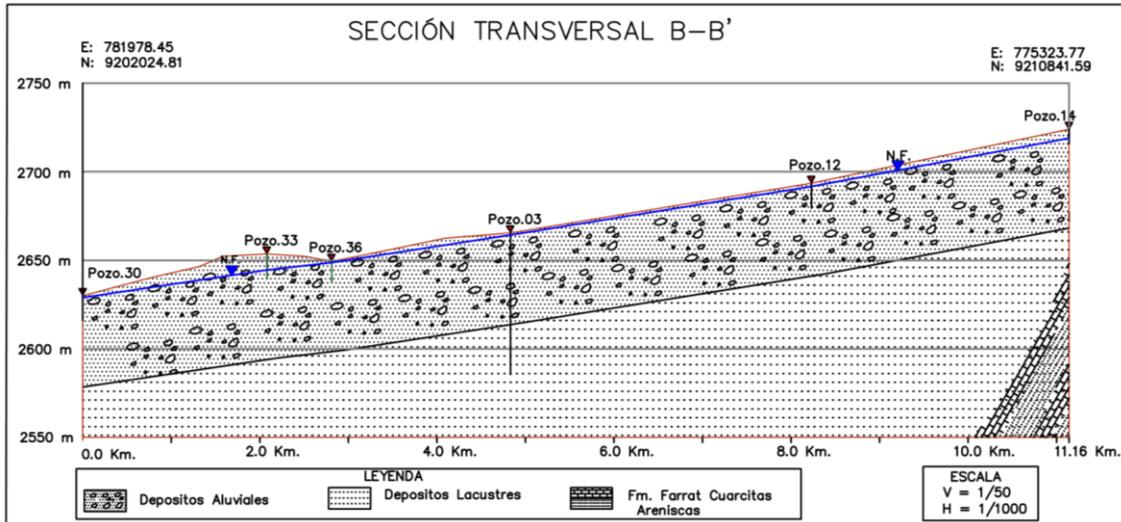
Figura 10: Perfil hidrogeológico A – A' del valle de Cajamarca, proyección de pozos y nivel freático.



Fuente: Elaboración propia

Esto explica los depósitos aluviales en el sector oeste. El hundimiento en el sector este, donde se emplaza el cauce actual, generó una zona hundida, endorreica y el depósito superficial de materiales finos de ambiente lacustre.

Figura 11: Perfil hidrogeológico B_ B' del valle de Cajamarca, proyección de pozos y nivel freático.



Fuente: Elaboración propia

Esto explica que los depósitos aluviales a lo largo del valle. El nivel freático se adapta a la topografía del terreno paralelo a los cauces actuales.

Transmisividad

Estos parámetros fueron obtenidos mediante pruebas de bombeo de corta duración en los pozos de muestreo, estas pruebas fueron realizadas en los pozos tubulares y excavados como son: Universidad Nacional de Cajamarca, Cerrillo Bajo, Clínica Limatambo.

Cuadro 9: Transmisividad en el valle de Cajamarca.

Pozo N°	Transmisividad (m ² /día)	
	Fase descenso	Fase recuperación
16. N° 01 (UNC)	19.55	-
38. Petronila Mantilla C.	22.13	15.05
43. Cerrillo Bajo	20.47	13.16
21. Clínica Limatambo	10.98	7.91

Fuente: Elaboración propia

Conductividad hidráulica

Para determinar la conductividad hidráulica se realizó pruebas de bombeo las cuales consistieron en la extracción del agua a caudal constante, con la ayuda de una electrobomba, luego se toma mediciones del nivel dinámico en intervalos de tiempo. Los valores obtenidos están en un rango de 0.20 m/día como la conductividad hidráulica más baja y se presenta en la región del pozo N° 21 y la región de mayor conductividad hidráulica es la zona donde se encuentra el pozo N° 38 con una conductividad hidráulica de 0.40 m/día.

Los resultados se muestran en la tabla N° 07, y los detalles de las pruebas de bombeo (descenso y recuperación) en anexos.

Cuadro 10: Conductividad hidráulica en el valle de Cajamarca

Pozo N°	Conductividad hidráulica (m/día) Fase descenso	Conductividad hidráulica (m/día) Fase recuperación
16. N° 01 (UNC)	0.3565	-
38. Petronila Mantilla C.	0.4025	0.2737
43. Cerrillo Bajo	0.3721	0.2392
21. Clínica Limatambo	0.2012	0.1437

Fuente: Elaboración propia.

4.3.Determinación de la porosidad efectiva

Los valores de porosidad son obtenidos a partir de la siguiente relación empírica establecida por Van Beers. Y los valores se presentan el cuadro siguiente.

$$m_e = \sqrt{K}$$

Donde:

m_e = porosidad drenable (%)

K= conductividad hidráulica (cm/día).

Cuadro 11: Valores obtenidos de la porosidad efectiva (fase descenso).

POZO	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	POROSIDAD EFECTIVA	POROSIDAD EFECTIVA
N°	K (m/día)	m _e (%)	m _e
16. N° 01 (UNC)	0.3555	5.96	0.059
38. Petronila Mantilla C.	0.4025	6.34	0.063
43. Cerrillo Bajo	0.3721	6.10	0.061
21. Clínica Limatambo	0.2012	4.48	0.044
Promedio			0.057

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos en la fase de descenso están en un rango de 0.044 como la porosidad efectiva más baja y se presenta en la región del pozo N° 21 y la región de mayor porosidad efectiva es la zona donde se encuentra el pozo N° 38 con una conductividad hidráulica de 0.063.

Cuadro 12: Valores obtenidos de la porosidad efectiva (fase recuperación).

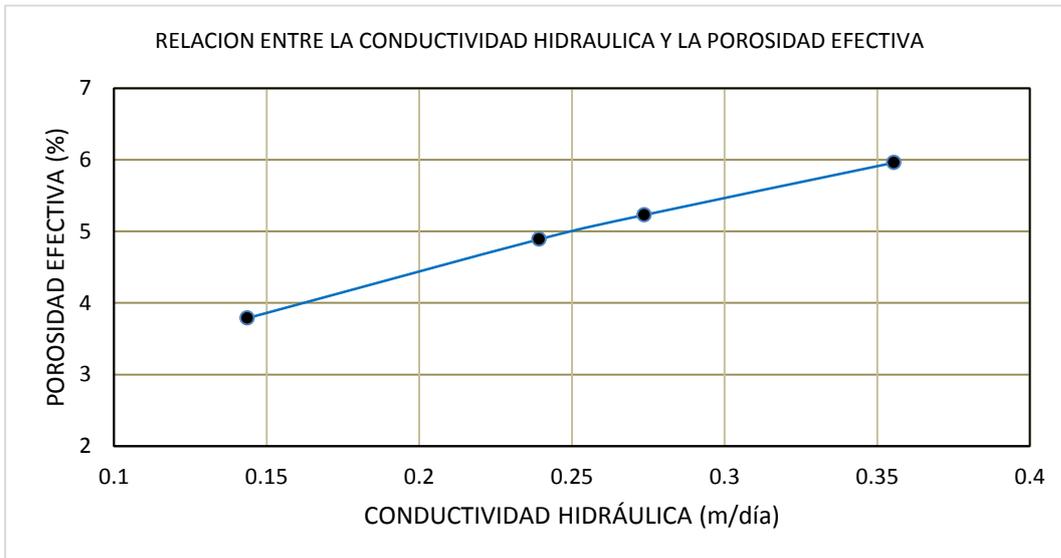
POZO	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	POROSIDAD EFECTIVA	POROSIDAD EFECTIVA
N°	K (m/día)	m _e (%)	m _e
16. N° 01 (UNC)	0.3555	5.96	0.059
38. Petronila Mantilla C.	0.2737	5.23	0.052
43. Cerrillo Bajo	0.2392	4.89	0.048
21. Clínica Limatambo	0.1437	3.79	0.037
Promedio			0.049

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos en la fase de recuperación están en un rango de 0.037 como la porosidad efectiva más baja y se presenta en la región del pozo N° 21 y la región de mayor porosidad efectiva es la zona donde se encuentra el pozo N° 16 con una conductividad hidráulica de 0.059.

Relación de la permeabilidad hidráulica con la porosidad efectiva.

Figura 12: conductividad hidráulica en función de la porosidad efectiva. (fase recuperación).



Fuente: Elaboración propia

Determinación del potencial hídrico del valle

A efectos de cuantificar el volumen del acuífero del valle de Cajamarca, este funciona como un reservorio con capacidad de almacenar agua en los periodos húmedos para utilizarla en los secos.

La reserva útil explotable del acuífero de Cajamarca se estima considerando 94.46 km² de superficie y un espesor estimado promedio de sedimentos de permeabilidad variable, saturados con agua de buena calidad de 55 metros, que representa el horizonte explotado del acuífero de Cajamarca.

$$Q = A * E * m_e$$

Cuadro 13: Valores obtenidos del potencial hídrico en el acuífero.

Espesor	Área (km ²)	Porosidad efectiva	Potencial hídrico acuífero (hm ³)
55	94.46	0.057	296.13

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se tomaron las características técnicas de los pozos, niveles de agua y caudales de producción, se puede apreciar que las fuentes de agua subterránea inventariadas son 43 pozos, los cuales son del tipo tubular y excavado con profundidades que varían entre 5m y 80 m.
- El mapa de isopiezas generado para el acuífero detrítico poroso del valle de Cajamarca, y según la distribución de las curvas isopiezas indican que, las zonas de recarga son las partes altas y zonas de drenaje las partes bajas, así mismo podemos observar que la dirección del flujo es al sur este, siguiendo la dirección del río principal del valle. Tenemos una zona del valle donde encontramos aguas subterráneas muy superficiales, generalmente en el lugar llamado Huacariz.
- La Conductividad Hidráulica se evaluó con la aplicación del métodos (Theis), este método nos permite el cálculo de la conductividad hidráulica tomando en cuenta el abatimiento del pozo, al caudal explotado, el tiempo de ascenso del nivel freático. Los valores de la conductividad hidráulica obtenidos varían desde 0.20 m/día hasta 0.40 m/día estos datos comparados con los cuadros N° 02 corresponde a una clasificación de media a baja o moderadamente lenta, el material conformante es de arena muy fina y franco arcillo, arcilloso mal estructurado.
- La porosidad efectiva es la cantidad de agua que está disponible para explotar en un medio poroso, los valores de porosidad efectiva se calcularon para cada pozo bombeado por el método desarrollado por Van Beers, los valores obtenidos varían desde 5.96 % hasta 3.79 %, comparando con los cuadros N° 08, corresponde a una estructura prismática, y una textura de arcillo limosa y franco arenosa y arcillosa.
- El valle de Cajamarca, con un área de 94.46 Km² y un espesor saturado estimado de 55 m. se tiene un potencial hídrico de 296.13 hm³

RECOMENDACIONES

- Para definir mejor los límites del acuífero del valle de Cajamarca, se recomienda realizar sondeos eléctricos verticales por todo el valle.
- Realizar pruebas de bombeo en pozos perforados que no cuenten con registro, esto para caracterizar el valle de acuerdo a sus propiedades hidrogeológicas.

CAPÍTULO VI : BIBLIOGRAFÍA

- Máximo B. M. (2013). Ingeniería del drenaje. Lima: Editorial Villón.
- Villón B. M. (2004). Hidrología Aplicada. Lima: Editorial Villón.
- ANA. (2015). Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca Crisnejas. Lima.
- Bardales, W. (2010). Estimación del potencial del recurso hídrico subterráneo del valle de Monjas, Jalapa, Watemala . Guatemala.
- Collazos C. M. (2012). Ciencias Geológicas. En Universidad de la República (pág. 120). Montevideo.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). Hidrología Subterránea. Barcelona: Ediciones Omega.
- Espinoza, C. (2004). Hidráulica de aguas subterránea y su aprovechamiento. Universidad de Chile. San Tiago.
- Gonzales T. C. (2007). Agrícola, Especialista en ambiente servicio y extensión.
- Johnson. D, E. (1975). El Agua Subterránea y los Pozos.
- Millares, A. (2006). Estudio hidrogeológico para la cuenca del río Guadalfeo. Universidad de Granada. 185 p. Granada.
- Mogg, J. L. (1971). Hidráulica de pozos. En Universidad Nacional Agraria la Molina (pág. 73). Lima: PE.
- Montaño X. J. (2012). En Profesor de hidrología Facultad de Ciencias. Universidad de la República Montevideo.
- Orozco, E. (2004). Potencial del recurso hídrico subterráneo y modelamiento matemático preliminar del sistema acuífero valle Aluvial del Río Guacalate desde Antigua Guatemala hasta Alotenango. Guatemala.
- Orozco, E. (2010). Caracterización hidrogeológica de la zona saturada presente en el valle de Chimaltenango. Guatemala.
- Peréz F. D. (1995). La Explotación del agua subterránea un nuevo enfoque. La Habana CU: Editorial científico - técnica.
- Poma, W., & Alcántara, G. (2011). Estudio de Suelos y capacidad de uso mayor del Departamento de Cajamarca. Cajamarca.
- Salgado S. L. (2001). Caracterización Hidrodinámica del suelo, Conductividad Hidráulica, Espacio Drenable Poroso, Espesor del Regimen de Flujo. Santiago.

- Salzgitter - Sisa, C. (2009). Estudio de factibilidad - presa chonta. Proyecto de regulación de las aguas del rio chonta mediante la presa del rio chonta, Informe inédito. Cajamarca 65p. 20 mapas. Propiedad de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.
- Sanchez S. F. (2014). Medidas Puntules de la Permeabilidad Departamento de Geología Universidad de Salamanca. Salamanca.
- Sánchez, J. (2014). Ley de Darcy. Conductividad Hidráulica. Universidad de Salamanca. España.
- Vélez, M. (1999). Hidráulica de Aguas Subterráneas. 2da edición. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Villanueva Martinez, M., & Iglesias Lopez, A. (1984). Pozos y Acuíferos . Tecnicas de evaluacion mediante ensayos de bombeo. Madrid: Talleres Gráficos IBERGESA.

CAPÍTULO VII : ANEXOS

A.1 Prueba de bombeo

Cuadro 14: Prueba de bombeo pozo N° 16 - UNC (fase descenso)

PRUEBA DE BOMBEO (Fase de Descenso)						
Departamento:	Cajamarca		Provincia :	Cajamarca		Distrito : Cajamarca
Propietario pozo:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA					Lugar: UNC
Fecha:	Caudal de bombeo Ponderado(Q)=			10.14 l/s		NE = Nivel Estatico
Prof. N.E/PR:	9.35 m	Altura PR7Suelo=		0 m		
DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA						
TIEMPO DE DESCENSO (Td)				POZO N° 02 UNC		
Fecha	Hora	Min	Seg	ProfND/PR (m)	Abatimiento	
05/07/2018			0.00	9.35	0	
		1	60	10.25	0.90	
		2	120	11.95	2.60	
		3	180	12.95	3.60	
		4	240	13.56	4.21	
		5	300	14.62	5.27	
		6	360	15.36	6.01	
		8	480	16.23	6.88	
		10	600	17.02	7.67	
		15	900	18.24	8.89	
		20	1200	21.14	11.79	
		25	1500	22.56	13.21	
		30	1800	25.25	15.90	
		40	2400	27.56	18.21	
		50	3000	30.24	20.89	
		60	3600	31.56	22.21	
		70	4200	32.56	23.21	
		80	4800	33.02	23.67	
		90	5400	33.43	24.08	
		100	6000	33.76	24.41	
		120	7200	33.98	24.63	
		150	9000	34.25	24.90	
		200	12000	34.88	25.53	
		300	18000	35.15	25.80	
		400	24000	35.46	26.11	
		600	36000	35.68	26.33	
		800	48000	36.08	26.73	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15: Prueba de bombeo pozo N° 38 (fase descenso)

PRUEBA DE BOMBEO (Fase de Descenso)								
Departamento:		Cajamarca		Provincia :		Cajamarca		
Propietario pozo:		Petronila Mantilla Caruanambo				Distrito :		Los Baños del Inca
Fecha:		Caudal de bombeo Ponderado(Q) = 3.33 l/s				Lugar:		La Esperanza
Prof. N.E/PR		12.4 m		Altura PR7Suelo=		0 m		
NIVEL DE AGUA								
TIEMPO DE DESCENSO (Td)				Fase de descenso		OBSERVACIONES		
Fecha	Hora	Min	Seg	Prof ND/PR (m)	Abatimiento			
10/07/2019	0.00	0.00	0.00	12.4	0			
	1	1	60	12.8	0.40			
	2	2	120	13.05	0.65			
	3	3	180	13.3	0.90			
	4	4	240	13.45	1.05			
	5	5	300	13.58	1.18			
	6	6	360	13.72	1.32			
	7	7	420	13.92	1.52			
	8	8	480	14.02	1.62			
	9	9	540	14.1	1.70			
	10	10	600	14.17	1.77			
	12	12	720	14.3	1.90			
	14	14	840	14.5	2.10			
	16	16	960	14.65	2.25			
	18	18	1080	14.75	2.35			
	20	20	1200	14.9	2.50			
	23	25	1500	15.6	3.20			
	28	30	1800	16.5	4.10			
	33	35	2100	17	4.60			
	38	40	2400	17.25	4.85			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 16: Prueba de bombeo pozo N° 38 (fase recuperación)

PRUEBA DE BOMBEO (Fase de Recuperación)								
Departamento:	Cajamarca		Provincia :	Cajamarca		Distrito :	Los Baños del Inca	
Propietario pozo:	Petronila Mantilla Caruanambo					Lugar:	La Esperanza	
Fecha:	Caudal de bombeo Ponderado(Q) =			3.33 l/s		NE = Nivel Estático		
Prof. N.E/PR	12.4 m	Altura PR7Suelo=		0 m				
Tiempo de bombeo (Tb)=	2400		Seg					
NIVEL DE AGUA								
TIEMPO DE DESCENSO (Td)				(Tb/Tr)+1				OBSERVACIONES
Fecha	Hora	Min	Seg			Prof ND/Suelo (m)	Abatimiento	
10/07/2019		0.00	0.00	Adim.	0	17.25	4.85	
		1	60	41.00	41.00	17.15	4.75	
		2	120	21.00	21.00	17.05	4.65	
		3	180	14.33	14.33	17	4.6	
		4	240	11.00	11.00	16.95	4.55	
		5	300	9.00	9.00	16.9	4.5	
		6	360	7.67	7.67	16.85	4.45	
		7	420	6.71	6.71	16.8	4.4	
		8	480	6.00	6.00	16.75	4.35	
		9	540	5.44	5.44	16.73	4.33	
		10	600	5.00	5.00	16.69	4.29	
		12	720	4.33	4.33	16.65	4.25	
		14	840	3.86	3.86	16.55	4.15	
		16	960	3.50	3.50	16.45	4.05	
		18	1080	3.22	3.22	16.35	3.95	
		20	1200	3.00	3.00	16.25	3.85	
		25	1500	2.60	2.60	15.9	3.5	
		30	1800	2.33	2.33	15.55	3.15	
		35	2100	2.14	2.14	15.25	2.85	
		40	2400	2.00	2.00	15.1	2.7	
		45	2700	1.89	1.89	14.8	2.4	
		50	3000	1.80	1.80	14.65	2.25	
		55	3300	1.73	1.73	14.5	2.1	
		60	3600	1.67	1.67	14.4	2	
		90	5400	1.44	1.44	13.9	1.5	
		120	7200	1.33	1.33	13.5	1.1	
		150	9000	1.27	1.27	13.35	0.95	
		180	10800	1.22	1.22	13.17	0.77	
		240	14400	1.17	1.17	12.8	0.4	
		300	18000	1.13	1.13	12.55	0.15	
		360	21600	1.11	1.11	12.4	0	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17: Prueba de bombeo pozo N° 43 – Cerrillo Bajo (fase descenso)

PRUEBA DE BOMBEO (Fase de Descenso)						
Departamento:		Cajamarca	Provincia :	Cajamarca	Distrito :	Los Baños del Inca
Propietario pozo:	Centro Poblado Cerrillo Bajo				Lugar:	Cerrillo Bajo
Fecha:	28/07/2019	Caudal de bombeo Ponderado(Q)=		2.3	l/s	NE = Nivel Estatico
Prof. N.E/PR=	12.55	m	Altura PR/Suelo=	0.0	m	
TIEMPO DE DESCENSO (Td)			Fase de descenso		OBSERVACIONES	
Fecha	Min	Seg	ProfND/PR (m)	Abatimiento		
28/07/2019	0.00	0.00	12.55	0		
	1	60	12.90	0.35		
	2	120	13.30	0.75		
	3	180	13.80	1.25		
	4	240	14.05	1.50		
	5	300	14.30	1.75		
	6	360	14.79	2.24		
	7	420	15.00	2.45		
	8	480	15.25	2.70		
	9	540	15.75	3.20		
	10	600	15.95	3.40		
	12	720	16.80	4.25		
	14	840	17.06	4.51		
	16	960	17.59	5.04		
	18	1080	17.90	5.35		
	20	1200	18.23	5.68		
	23	1380	18.89	6.34		
	28	1680	19.25	6.70		
	33	1980	19.48	6.93		
	38	2280	20.11	7.56		
	43	2580	20.30	7.75		
	48	2880	20.45	7.90		
	53	3180	20.62	8.07		
	58	3480	20.66	8.11		
	63	3780	20.68	8.13		
	73	4380	20.72	8.17		
	83	4980	20.82	8.27		
	93	5580	20.87	8.32		
	103	6180	21.00	8.45		
	113	6780	21.04	8.49		
	123	7380	21.00	8.45		
	133	7980	21.00	8.45		
	143	8580	21.10	8.55		
	153	9180	21.13	8.58		
	163	9780	21.12	8.57		
	173	10380	21.20	8.65		
	183	10980	21.22	8.67		
	193	11580	21.24	8.69		
	203	12180	21.24	8.69		
	213	12780	21.26	8.71		
	223	13380	21.27	8.72		
	233	13980	21.28	8.73		
	243	14580	21.29	8.74		
	253	15180	21.29	8.74		
	263	15780	21.31	8.76		
	273	16380	21.32	8.77		
	283	16980	21.34	8.79		
	298	17880	21.35	8.80		
	313	18780	21.35	8.80		
	328	19680	21.40	8.85		
	343	20580	21.50	8.95		
	358	21480	21.48	8.93		
	373	22380	21.50	8.95		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 18: Prueba de bombeo pozo N° 43 – Cerrillo Bajo (fase recuperación)

PRUEBA DE BOMBEO (Fase Recuperacion)						
Departamento:		Cajamarca	Provincia :	Cajamarca	Distrito :	Los Baños del Inca
Propietario pozo:	Centro Poblado Cerrillo Bajo		Lugar:	Centro Poblado Cerrillo Bajo		
Fecha:	28/07/2019	Caudal de bombeo Ponderado(Q)=	2.3	l/s	NE = Nivel Estatico	
Prof. N.E/PR=	12.55	m	Altura PR/Suelo=	0.0	m	
Tempo de Bombeo (Tb) =	22380		s			
TIEMPO DE DESCENSO (Tr)			(Tb/Tr)+1	Fase de descenso		OBSERVACIONES
Fecha	Min	Seg		Prof ND/PR (m)	Abatimiento	
28/07/2019	0.00	0.00	Adim.	21.50	8.95	
1	1	60	374.00	18.32	5.77	
2	2	120	187.50	16.38	3.83	
3	3	180	125.33	15.64	3.09	0.03
4	4	240	94.25	15.11	2.56	0.08
5	5	300	75.60	14.84	2.29	0.10
6	6	360	63.17	14.63	2.08	0.14
7	7	420	54.29	14.56	2.01	0.16
8	8	480	47.63	14.48	1.93	0.19
9	9	540	42.44	14.40	1.85	0.20
10	10	600	38.30	14.38	1.83	0.31
11	12	720	32.08	14.22	1.67	0.33
12	14	840	27.64	14.14	1.59	0.39
13	16	960	24.31	14.07	1.52	0.41
14	18	1080	21.72	14.02	1.47	0.45
15	20	1200	19.65	13.97	1.42	0.48
16	22	1320	17.95	13.92	1.37	0.50
17	24	1440	16.54	13.84	1.29	0.57
18	28	1680	14.32	13.76	1.21	0.64
19	33	1980	12.30	13.66	1.11	0.69
20	38	2280	10.82	13.59	1.04	0.75
21	43	2580	9.67	13.53	0.98	0.84
22	48	2880	8.77	13.49	0.94	0.88
23	53	3180	8.04	13.43	0.88	0.94
24	58	3480	7.43	13.39	0.84	0.98
25	68	4080	6.49	13.30	0.75	1.04
26	78	4680	5.78	13.24	0.69	1.11
27	88	5280	5.24	13.19	0.64	1.21
28	98	5880	4.81	13.12	0.57	1.29
29	108	6480	4.45	13.05	0.50	1.37
30	118	7080	4.16	13.03	0.48	1.42
31	128	7680	3.91	13.00	0.45	1.47
32	138	8280	3.70	12.96	0.41	1.52
33	148	8880	3.52	12.94	0.39	1.59
34	178	10680	3.10	12.88	0.33	1.67
35	208	12480	2.79	12.86	0.31	1.83
36	238	14280	2.57	12.75	0.20	1.85
37	268	16080	2.39	12.74	0.19	1.93
38	298	17880	2.25	12.71	0.16	2.01
39	328	19680	2.14	12.69	0.14	2.08
40	388	23280	1.96	12.65	0.10	2.29
41	448	26880	1.83	12.63	0.08	2.56
42	508	30480	1.73	12.58	0.03	3.09

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19: Prueba de bombeo pozo N° 21 – Clínica Limatambo (fase descenso)

PRUEBA DE BOMBEO (Fase de Descenso)							
Departamento:	Cajamarca		Provincia :	Cajamarca		Distrito :	Cajamarca
Propietario pozo:	Clinica Limatambo					Lugar:	Cajamarca
Fecha:		Caudal de bombeo Ponderado(Q) =			1.25 l/s		NE = Nivel Estatico
Prof. N.E/PR	10.5 m	Altura PR7Suelo=			0 m		
NIVEL DE AGUA							
TIEMPO DE DESCENSO (Td)				Fase de descenso		OBSERVACIONES	
Fecha	Hora	Min	Seg	Prof ND/PR (m)	Abatimiento		
17/07/2019		0.00	0.00	10.5	0		
		1	60	10.85	0.35		
		2	120	11.58	1.08		
		3	180	11.85	1.35		
		4	240	12.26	1.76		
		5	300	12.55	2.05		
		6	360	12.7	2.20		
		7	420	12.9	2.40		
		8	480	13.08	2.58		
		9	540	13.25	2.75		
		10	600	13.35	2.85		
		12	720	13.5	3.00		
		14	840	13.6	3.10		
		16	960	13.65	3.15		
		18	1080	13.85	3.35		
		20	1200	14.08	3.58		
		25	1500	14.7	4.20		
		30	1800	14.95	4.45		
		35	2100	15.3	4.80		
		40	2400	15.7	5.20		
		45	2700	16.06	5.56		
		50	3000	16.5	6.00		
		55	3300	16.9	6.40		
		60	3600	17.25	6.75		
		65	3900	17.8	7.30		
		70	4200	18.55	8.05		

Fuente: Elaboración propia

cuadro 20: Prueba de bombeo pozo N° 21 – Clínica Limatambo (fase recuperación)

PRUEBA DE BOMBEO (Fase de Recuperacion)								
Departamento:	Cajamarca		Provincia :	Cajamarca		Distrito :	Cajamarca	
Propietario pozo:	Clinica Lomatambo					Lugar:	Cajamarca	
Fecha:		Caudal de bombeo Ponderado(Q) =			1.25 l/s	NE = Nivel Estatico		
Prof. N.E/PF	10.5 m	Altura PR7Suelo=		0 m				
Tiempo de bombeo (Tb)=	4200		Seg					
NIVEL DE AGUA								
TIEMPO DE DESCENSO (Td)				(Tb/Tr)+1				OBSERVACIONES
Fecha	Hora	Min	Seg	Adim.		Prof ND/Suelo (m)	Abatimiento	
17/07/2019		0.00	0.00		0	18.55	8.05	
		1	60	71.00	71.00	18.35	7.85	
		2	120	36.00	36.00	18.15	7.65	
		3	180	24.33	24.33	17.95	7.45	
		4	240	18.50	18.50	17.6	7.1	
		5	300	15.00	15.00	17.3	6.8	
		6	360	12.67	12.67	17.02	6.52	
		7	420	11.00	11.00	16.7	6.2	
		8	480	9.75	9.75	16.4	5.9	
		9	540	8.78	8.78	16.2	5.7	
		10	600	8.00	8.00	16.02	5.52	
		12	720	6.83	6.83	15.8	5.3	
		14	840	6.00	6.00	15.5	5	
		16	960	5.38	5.38	15.25	4.75	
		18	1080	4.89	4.89	15.08	4.58	
		20	1200	4.50	4.50	14.82	4.32	
		25	1500	3.80	3.80	14.45	3.95	
		30	1800	3.33	3.33	14.23	3.73	
		35	2100	3.00	3.00	14.02	3.52	
		40	2400	2.75	2.75	13.8	3.3	
		45	2700	2.56	2.56	13.5	3	
		50	3000	2.40	2.40	13.35	2.85	
		55	3300	2.27	2.27	13.15	2.65	
		60	3600	2.17	2.17	13.05	2.55	
		90	5400	1.78	1.78	12.85	2.35	
		120	7200	1.58	1.58	12.75	2.25	
		180	10800	1.39	1.39	12.56	2.06	
		360	21600	1.19	1.19	12.04	1.54	
		540	32400	1.13	1.13	11.52	1.02	
		720	43200	1.10	1.10	11.12	0.62	
		1080	64800	1.06	1.06	10.55	0.05	

Fuente: Elaboración propia

A.4 Inventario de pozos del valle de Cajamarca

Cuadro 21: Inventario de pozos del valle de Cajamarca

N°	DISTRITO	PROPIETARIO	ESTE	NORTE	C. T. m.s.n.m.	Tipo	Prof. Act	D	Prof. (m)	N. A. m.s.n.m.
1	Baños del Inca	Alberto Cabanillas	779503.552	9206686.86	2671.372	Anillado	14	1.2	1.1	2670
2	Baños del Inca	Fundo Soténia Huayrapongo	779476.88	9206052.24	2663.558	Anillado	5	1.2	0.55	2663
3	Baños del Inca	Diana Tocto Herazo	779434.84	9206130.76	2665.764	Anillado	12	1.2	1.2	2665
4	Baños del Inca	Rogelio Celis Ventura	780144.799	9207208.2	2677.073	Anillado	20	1.2	2.55	2675
5	Cajamarca	Empresa Dias	776225.504	9206733.16	2710.93	Anillado	25	1.2	2.19	2689
6	Cajamarca	Costado Empresa Dias	776238.671	9206695.95	2712.386	Anillado	22	1.2	17.9	2694
7	Cajamarca	Palcios	777049.727	9205870.47	2703.642	Anillado	26	1.2	19.9	2684
8	Cajamarca	Raul Cerna Rosales	777045.371	9206224.76	2700.079	Anillado	18	1.2	13.9	2686
9	Cajamarca	Juan Carlos Alcalde	776778.484	9206151.35	2707.482	Anillado	27	1.2	20.05	2687
10	Baños del Inca	Iglesia Jesus de Nasaret Tartar	780226.812	9209698.15	2738.987	Anillado	20	1.2	16.7	2722
11	Baños del Inca	Grifos Otuzco	778808.238	9210372.27	2711.646	Anillado	9	1.2	3.5	2708
12	Baños del Inca	El Zarco	777164.187	9208672.05	2693.809	Anillado	14	1.2	1.84	2692
13	Baños del Inca	Francisco Banda Culqui	775374.163	9210973.93	2726.326	Anillado	14	1.2	3.68	2723
14	Baños del Inca	Carlos Marin	775323.773	9210841.59	2724.416	Anillado	14	1.2	5.28	2719
15	Cajamarca	UNC Pozo N°02	776637.561	9206820.59	2700.888	Tubular	70	0.3	13.35	2688
16	Cajamarca	UNC Pozo N°01	776385.755	9206983.86	2700.983	Tubular	85	0.3	9.3	2692
17	Cajamarca	UNC Pozo N°03	777090.288	9207119.98	2689.557	Tubular	110	0.3	8.4	2681
18	Cajamarca	Isidro Cerquin Alcantara	777263.5	9206937.39	2687.541	Anillado	9	1.2	3.5	2684
19	Cajamarca	Lucy Altamirano	777850.081	9205681.03	2684.821	Anillado	10	1.2	6.1	2679
20	Cajamarca	OscarChavez	777629.877	9205714.08	2690	Anillado	11.3	1.2	9.4	2681
21	Cajamarca	Clinica Limatambo I	773556.216	9208763.56	2753.16	Anillado	19	1.2	10.5	2743

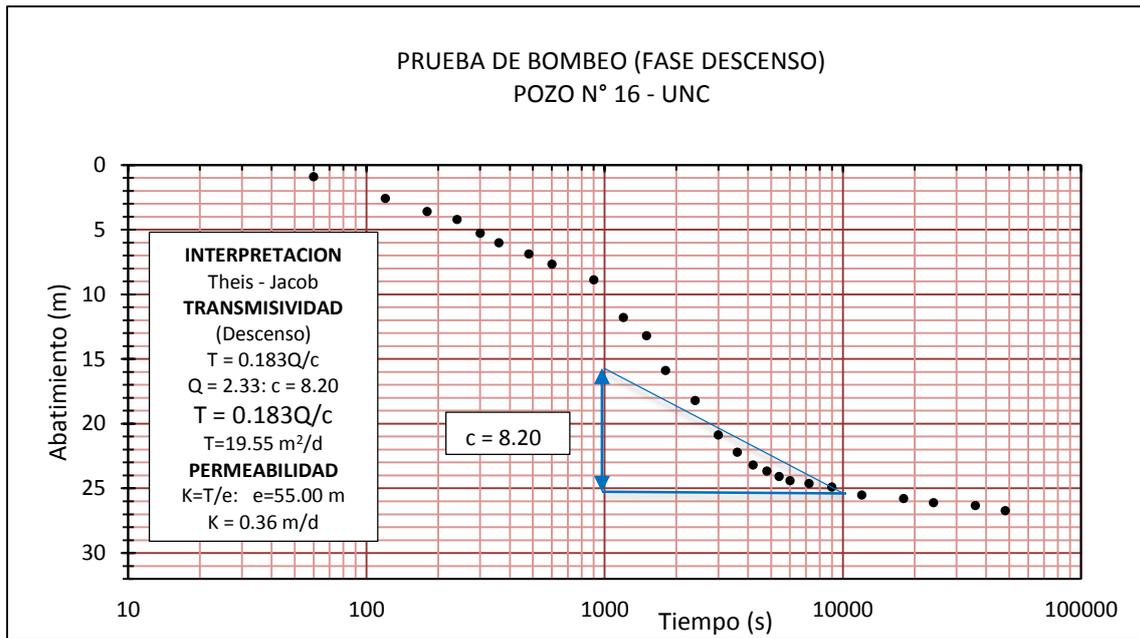
Fuente: Elaboración propia

Continuación de tabla

22	Cajamarca	Clinica Limatambo2	773556.216	9208763.56	2753.16	Anillado	21.2	1.2	12.2	2741
23	Cajamarca	Restaurante el Mundialito	773557.97	9208764.22	2748.7	Anillado	10.5	1.2	5.7	2743
24	Baños del Inca	Wilder Ramirez Requelme	781101.516	9205368.78	2646.763	Anillado	8	1.2	1.1	2646
25	Baños del Inca	Abraham Huaman Ocas	780944.425	9205621.96	2655.644	Anillado	10	1.2	0.8	2655
26	Baños del Inca	Abraham Casas Linares	781268.823	9205338.02	2646.345	Anillado	8	1.2	1.5	2645
27	Llacanora	Llanos	784027.355	9202989.16	2647.919	Anillado	27	1.2	12.2	2636
28	Llacanora	Familia Huaccha Gonzales	783531.426	9202826.14	2649.124	Anillado	22	1.2	6.45	2643
29	Jesus	LauraLulichac Julcamoro	781987.088	9202037.88	2631.663	Anillado	5	1.2	0.5	2631
30	Jesus	Luis Malca	781978.452	9202024.81	2630.117	Anillado	8	1.2	1.1	2629
31	Jesus	Pedro Celada Cachi	781975.316	9202007.41	2631.868	Anillado	8	1.2	0.45	2631
32	Llacanora	Carlos Pajares	780858.839	9203729.03	2653.454	Anillado	10	1.2	4.1	2649
33	Llacanora	Pedro Pajares	780895.235	9203805.87	2653.921	Anillado	11	1.2	7.9	2646
34	Llacanora	Santiago Pajares	780828.961	9203570.14	2653.237	Anillado	14	1.2	4.26	2649
35	Llacanora	Alan Abanto Pajares	780343.112	9204577.73	2652.55	Anillado	6	1.2	0.6	2652
36	Llacanora	UNC Fudo La Victoria	780604.062	9204477.2	2649.854	Tubular	80	0.3	0.8	2649
37	Cajamarca	Albina Duran	779255.091	9203376.88	2663.669	Anillado	15	1.2	1.85	2662
38	Bños del Inca	Petronila Mantilla Caruanambo	780749.936	9208095.92	2696.652	Anillado	18	1.2	13.2	2683
39	Cajamarca	Felipe Cortez Guevara	777576.586	9205148.92	2697.246	Anillado	25	1.2	16	2681
40	Cajamarca	Frente a Penal	777586.709	9204279.45	2692.578	Anillado	20	1.2	12.5	2680
41	Cajamarca	Jose Duran Aquino	778883.97	9202121.73	2705.039	Anillado	45	1.2	37.56	2667
42	Cajamarca	Segundo Aquino Sapo	778823.626	9202309.72	2695.536	Anillado	33	1.2	27.7	2668
43	Baños del Inca	Centro Poblado Cerrillo Bajo	777635	9211187	2721	Perforado	35	0.3	12.55	2708

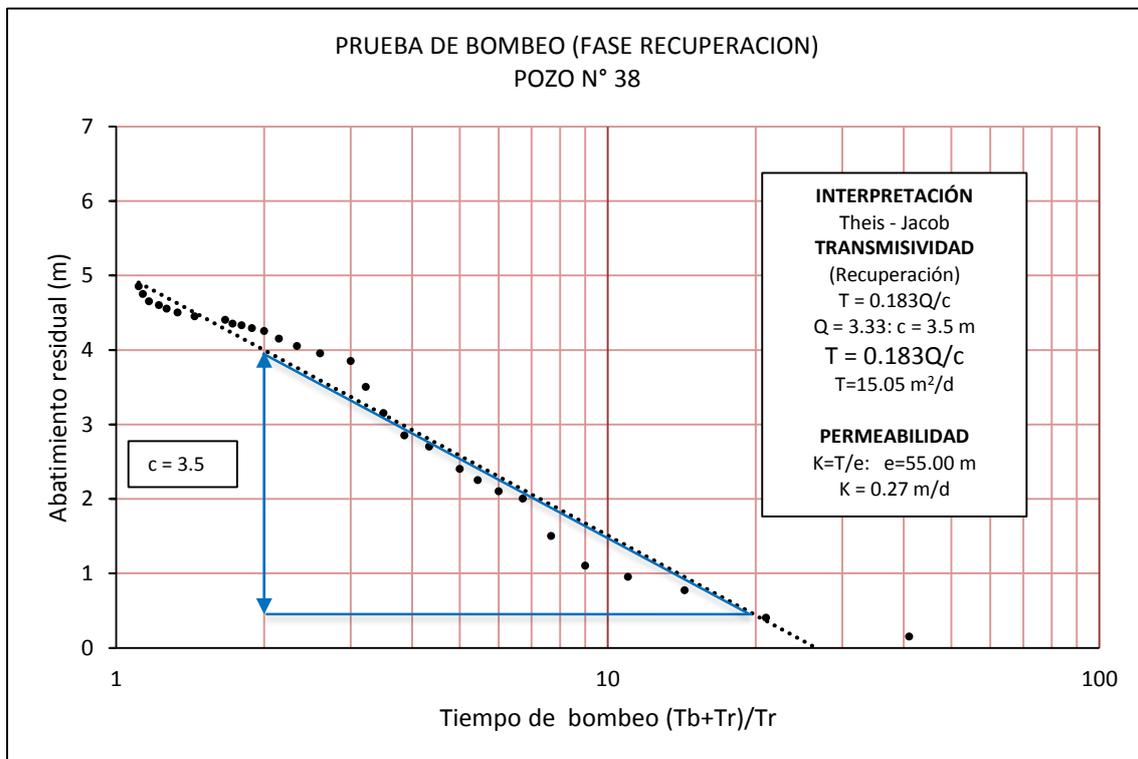
Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Permeabilidad hidráulica pozo N° 16 – UNC por el método de Theis.



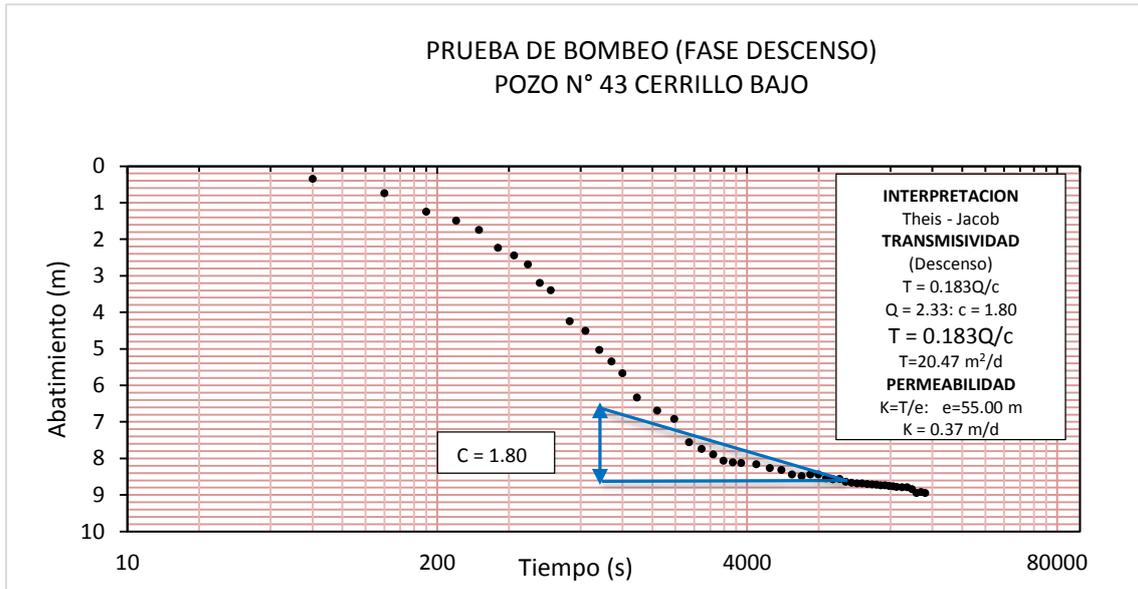
Fuente: Elaboración propia

Figura 14: Permeabilidad hidráulica pozo N° 38 por el método de Theis



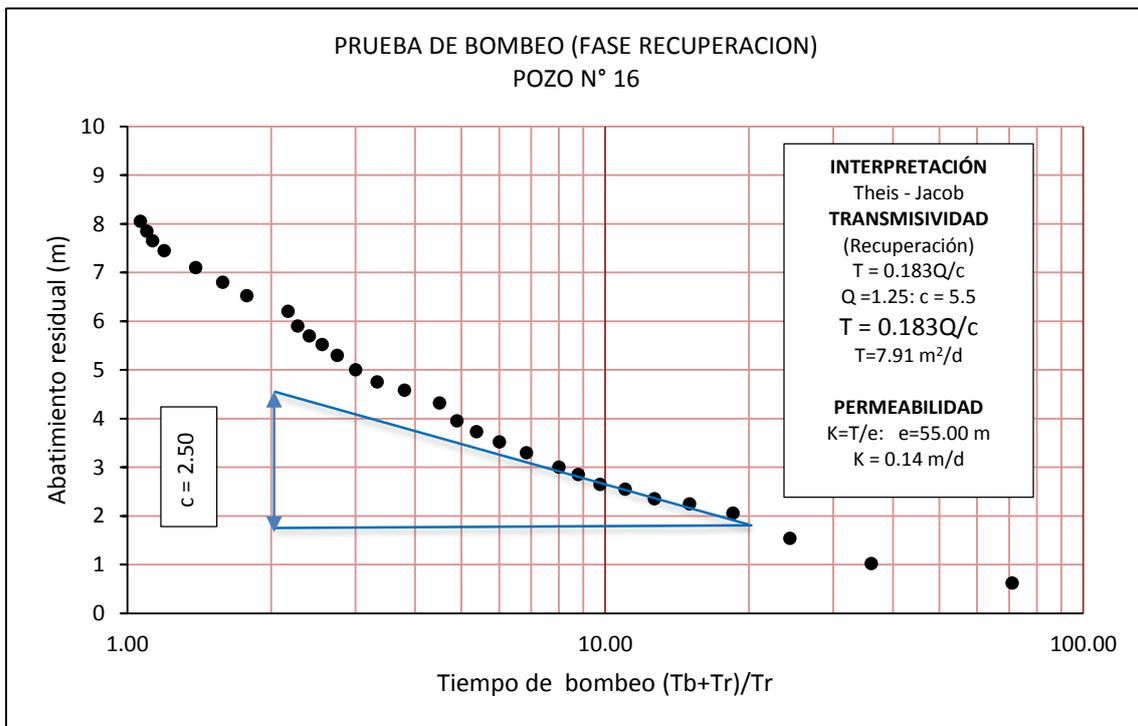
Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Permeabilidad hidráulica pozo N° 43 por el método de Theis



Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Permeabilidad hidráulica pozo N° 21 por el método de Theis



Fuente: Elaboración propia

A.5 Panel fotográfico

Figura 17: Vista de las actividades del valle de Cajamarca

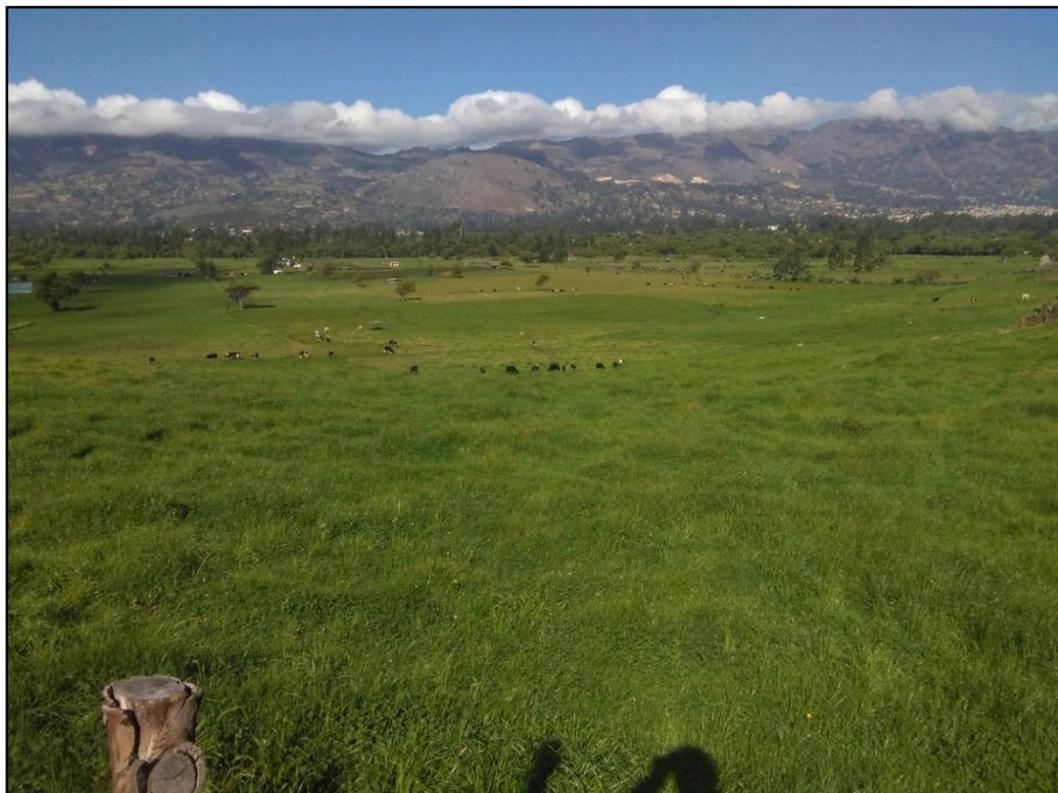


Figura 18: Pozos visitados donde observamos el nivel freático del valle de Cajamarca



Figura 19: Inventariando los pozos del valle de Cajamarca



Figura 20: Ecosonda para la prueba de bombeo pozo N° 02 de la Universidad Nacional de Cajamarca



Figura 21: Prueba de bombeo pozo N° 02 de la Universidad Nacional De Cajamarca

