

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOFÍSICA Y MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE  
CAMANÁ, SECTOR DE SAN GREGORIO”**

Presentado por el Bachiller:

AGUIRRE RAMOS, JESÚS GUILLERMO

Para la obtención del Título Profesional de  
Ingeniero Geólogo.

**AREQUIPA- PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOFÍSICA Y MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE  
CAMANÁ, SECTOR DE SAN GREGORIO”**

**Jurados:**

**Presidente: Dr. José Díaz Rodríguez**

**Vocal : Mag. Pablo Meza Aréstegui**

**Secretario : Mag. Salomé Chacón Arcaya**

**Asesor: Dr. Aníbal Lajo Soto**

**Presentado por el Bachiller: Jesús Aguirre Ramos**

**AREQUIPA- PERÚ**

**2018**

**Dedicatoria:**

A mis padres, mi hermano y a mi asesor  
por su apoyo en el presente trabajo

## INDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Ubicación del área de estudio.....	1
1.3. Planteamiento del Problema.....	4
1.4. Formulación del problema .....	6
1.5. Objetivos de la investigación .....	6
1.6. Justificación de la investigación.....	7
1.7. Hipótesis de trabajo .....	8
1.8. Alcances y limitaciones de la investigación.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Introducción .....	10
2.2. Geología Regional.....	10
2.3. Conceptos Básicos de Hidrogeología.....	26
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	51
3.1. Introducción.....	51
3.2. Diseño de Investigación.....	51
3.3. Recolección de datos .....	52

3.4. Trabajo de Campo.....	52
3.5. Procesamiento de Información.....	66
CAPÍTULO IV : CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE CAMANÁ, SECTOR SAN GREGORIO.....	74
4.1. Introducción .....	74
4.2. Geología Local .....	74
4.3. Interpretación Geológica-Geofísica .....	80
4.4. Inventariado de Pozos de Agua.....	86
4.5. Parámetros físico-químicos de agua subterránea .....	87
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	100
5.1. Introducción .....	100
5.2. Geología Local – San Gregorio.....	100
5.3. Prospección Geofísica.....	101
5.4. Inventario de Pozos de agua.....	107
5.5. Parámetros físico-químicos de calidad de Agua .....	107
5.6. Características de los Parámetros hidráulicos .....	108
CONCLUSIONES .....	111
RECOMENDACIONES.....	113
REFERENCIAS .....	114

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Ubicación geográfica del área de estudio .....	2
Tabla 1.2: Análisis de Muestras de agua superficial en Camaná.....	5
Tabla 2.3 : Inventariado de agua en la superficie terrestre .....	27
Tabla 2.4: Escala de clasificación de la textura de los sedimentos.....	33
Tabla 2.5: Rango de valores de la conductividad hidráulica y porosidad de los distintos materiales geológicos .....	35
Tabla 2.6: Porosidad Eficaz de algunos tipos de roca .....	37
Tabla 2.7: Valores de la transmisividad.....	39
Tabla 3.1: Datos de campo de los sondajes eléctricos verticales.....	55
Tabla 3.2: Ubicación de los sondajes realizados .....	57
Tabla 3.3: Métodos de ensayo a caudal constante .....	64
Tabla 4.1: Resultados de la interpretación de los Sondajes Eléctricos Verticales.....	84
Tabla 4.2: Características Técnicas del pozo de San Gregorio.....	87
Tabla 4.3: Parámetros físico químicos de campo obtenidos con el multiparámetro .....	88
Tabla 4.4: Formato de trabajo con los principales aniones y cationes para la realización de los diagramas Piper, Stiff y Schoeller. ....	89
Tabla 5.1: Parámetros obtenidos de la muestra enviada a Laboratorios Analíticos del Sur .....	108

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Ciclo Hidrológico.....	26
Figura 2.2: La distribución del agua en las proximidades de la superficie terrestre.....	27
Figura 2.3: Ciclo Hidrológico.....	30
Figura 2.4: Agua en el subsuelo.....	31
Figura 2.5: Pozos en un acuífero libre y confinado.....	42
Figura 2.6: Clasificación de los acuíferos en función del tipo de porosidad.....	43
Figura 2.7: Sección vertical de un sistema de flujo de agua subterránea.....	44
Figura 2.8: Curvas teóricas de tiempo-depresión en diferentes acuíferos.....	50
Figura 3.1: Disposición Schlumberger en Sondajes eléctricos verticales.....	56
Figura 4.1: Curva de Campo del Sondeo 01.....	80
Figura 4.2: Aproximación de capas del Sondeo 01.....	80
Figura 4.3: Curva de Campo del Sondeo 02.....	81
Figura 4.4: Aproximación de capas del Sondeo 02.....	81
Figura 4.5: Curva de Campo del Sondeo 04.....	82
Figura 4.6: Aproximación de capas del sondeo 04.....	82
Figura 4.7: Curva de campo del Sondeo 05.....	83
Figura 4.8: Aproximación de Capas del Sondeo 05.....	83
Figura 4.9: Diagrama de Piper, correspondiente al área de San Gregorio.....	90
Figura 4.10: Casos Típicos de Agua de acuerdo al Diagrama de Piper.....	91
Figura 4.11: Diagrama de Stiff, correspondiente al área de San Gregorio.....	92

Figura 4.12: Diagramas de Stiff típicos .....	92
Figura 4.13: Diagrama de Schoeller, correspondiente al área de San Gregorio .....	93
Figura 4.14: Gráfica abatimiento (m) vs tiempo (s) .....	95
Figura 4.15: Gráfica abatimiento (m) vs log tiempo (s) etapa de descenso.....	96
Figura 4.16: Gráfica rebatimiento (m) vs log tiempo $(t+t')/t'$ etapa de recuperación .....	98
Figura 5.1: Solución de la etapa de bombeo en descenso con el software AQTESOLV .....	110

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1: Realización de Sondajes eléctricos verticales .....	57
Fotografía 3.2: Pozo tubular en el sector de San Gregorio .....	58
Fotografía 3.3: Obtención de datos de calidad de agua con el multiparámetro .....	60
Fotografía 3.4: Descenso a la base del pozo para la toma de medidas de nivel estático .....	61
Fotografía 3.5: Realización de la prueba de bombeo en el pozo de San Gregorio .....	63
Fotografía 3.6: Sonda acústica utilizada en la prueba de bombeo en el pozo de San Gregorio ...	65
Fotografía 4.1: Granito Rojo.....	75
Fotografía 4.2: Vista Panorámica Sector San Gregorio.....	76
Fotografía 4.3: Formación Camana .....	77

## INDICE DE PLANOS

Plano 01 : Ubicación del Sector de San Gregorio.....	3
Plano 02: Geología Regional .....	24
Plano 03: Ubicación de sondajes eléctricos verticales.....	85
Plano 04: Geología Local.....	103

## INDICE DE LÁMINAS

Lámina 01: Columna geológica regional.....	25
Lámina 02: Columna geológica Local.....	104
Lámina 03: Sección Geológica del sector San Gregorio .....	105
Lámina 04: Sección geo eléctrica del Sector San Gregorio.....	106

## RESUMEN

El agua subterránea, en la actualidad, viene siendo afectada por la presión humana, agravando su disponibilidad, los factores de presión son fundamentalmente la sobreexplotación del acuífero, y el deterioro en su calidad. Con base en el análisis geológico, geofísico, e hidrogeológico de la zona del valle de la Ciudad de Camaná, distrito de San Gregorio, se estableció una caracterización del modelo hidrogeológico, para comprender el comportamiento del acuífero, con ayuda de la prospección geofísica basada en el método de Sondajes Eléctricos Verticales, lográndose identificar tres horizontes geo-eléctricos, el primer horizonte con un espesor aproximado de 7 metros aproximadamente, el segundo con un espesor de 10 metros, y el tercero compuesto por materiales gruesos. Con información de la geología local el área de estudio se corrobora la presencia de rocas sedimentarias, e ígneas la unidad estratigráfica perteneciente al acuífero es de origen aluvial, compuesto por materiales depositados de grano fino. Los parámetros hidráulicos obtenidos en campo, en la fase de recuperación son, la transmisividad con un valor de  $T = 431.767 \text{ m}^2/\text{día}$ , la conductividad hidráulica horizontal  $k = 14.39 \text{ m/día}$  y el coeficiente de almacenamiento  $S = 0.0896$  estos valores son concordantes con los de un acuífero libre aluvial.

Los parámetros físico químicos del agua subterránea en campo ( $T^\circ$ , pH, Conductividad Eléctrica y Total de Sólidos Disueltos) se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para un uso de agua de consumo humano.

**Palabras Clave:** acuífero, origen aluvial, transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Introducción**

El presente capítulo aborda información general del problema de investigación planteado en la localidad de San Gregorio, dicha localidad es la capital del distrito de Nicolás de Piérola, el cual es uno de los distritos aledaños a la ciudad de Camaná. Como se detalla en este capítulo, gran porcentaje del abastecimiento de agua potable en la ciudad de Camaná es de origen subterráneo, sin embargo hasta la actualidad no existen estudios de esta fuente de agua y son cada vez más el número pozos perforados en el acuífero, por lo que se plantea obtener los parámetros para la caracterización hidrogeológica del acuífero de Camaná, en el Sector de San Gregorio, con fines de uso poblacional.

### **1.2. Ubicación del área de estudio**

#### ***1.2.1. Ubicación Geográfica***

El sector de San Gregorio, está ubicado a la margen derecha del río Camaná; dentro de la Comisión de Usuarios La Bombón pertenece políticamente a la

jurisdicción del distrito de Nicolás de Piérola. La Comisión de Regantes La Bombón y el distrito de Nicolás de Piérola, comparten la misma ubicación del espacio geográfico, y se encuentra ubicado al nor – oeste de la provincia de Camaná, en el departamento de Arequipa (Ver Plano N°01).

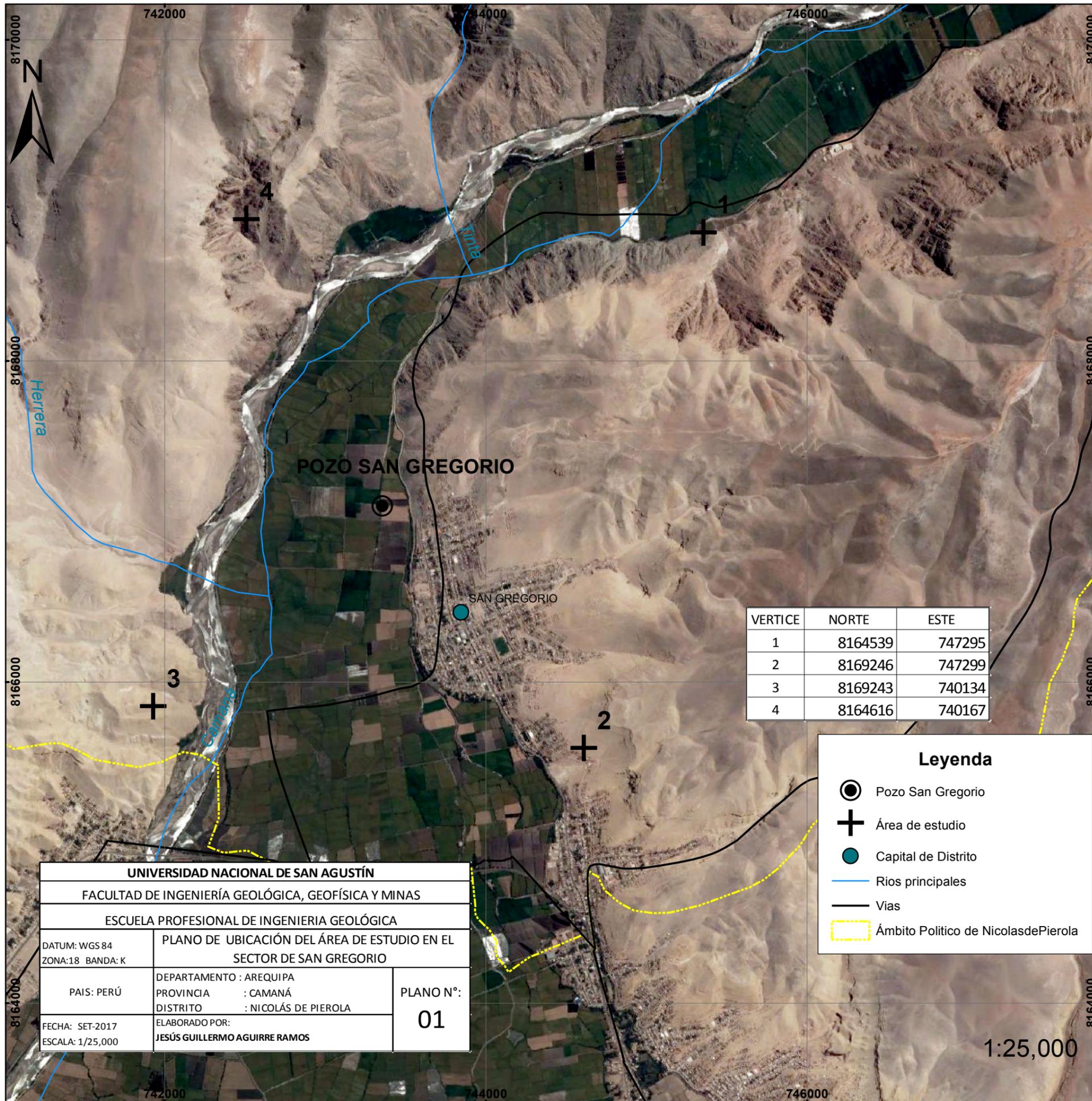
*Tabla 1.1: Ubicación geográfica del área de estudio*

<b>Vértice</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>
1	8164539	747295
2	8169246	747299
3	8169243	740134
4	8164616	740167
DATUM:		WGS-84
ZONA: 18		Banda: k

(Elaboración Propia)

El sector de San Gregorio, es la capital del distrito de Nicolás de Piérola, uno de los ocho distritos que conforman la provincia de Camaná, su ubicación política se muestra como sigue a continuación:

Región : Arequipa  
 Provincia : Camaná  
 Distrito : Nicolás de Piérola  
 Sector : San Gregorio – La Bombón



VERTICE	NORTE	ESTE
1	8164539	747295
2	8169246	747299
3	8169243	740134
4	8164616	740167

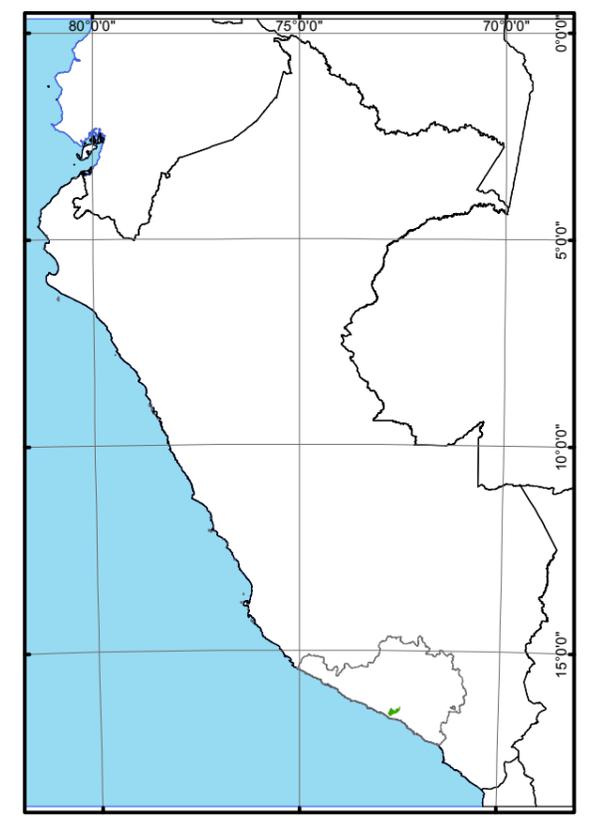
**Leyenda**

- Pozo San Gregorio
- Área de estudio
- Capital de Distrito
- Rios principales
- Vías
- Ámbito Político de Nicolás de Pierola

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN</b>		
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA		
DATUM: WGS 84 ZONA: 18 BANDA: K		PLANO DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN EL SECTOR DE SAN GREGORIO
PAIS: PERÚ	DEPARTAMENTO : AREQUIPA PROVINCIA : CAMANÁ DISTRITO : NICOLÁS DE PIEROLA	<b>PLANO N°: 01</b>
FECHA: SET-2017 ESCALA: 1/25,000	ELABORADO POR: <b>JESÚS GUILLERMO AGUIRRE RAMOS</b>	

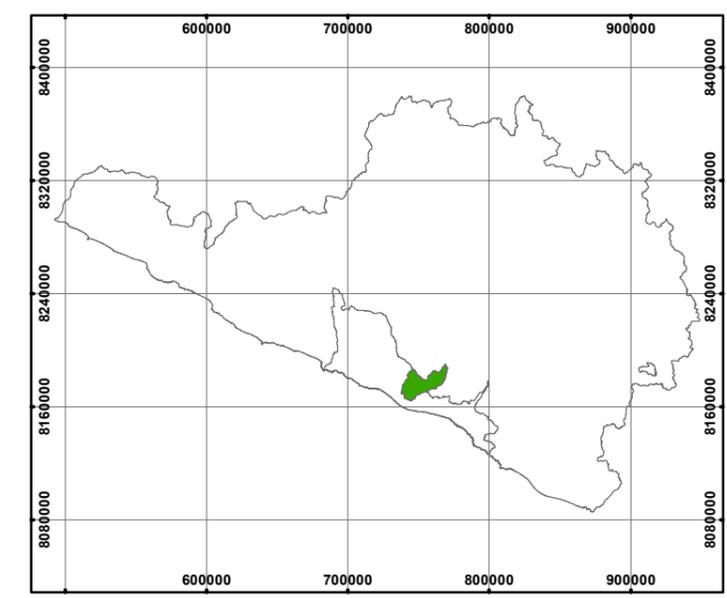
1:25,000

UBICACIÓN NACIONAL PERÚ



1:19,000,000

UBICACIÓN DEPARTAMENTAL AREQUIPA



1:5,000,000

### ***1.2.2. Accesibilidad***

El acceso principal al área del proyecto lo constituye la carretera Panamericana Sur, donde existe un desvío a la altura del Km. 840 (Grifo Villa Hermosa), que da inicio a la vía asfaltada de la carretera de entrada a la Pampa. Desde Arequipa, se llega en 3 horas. Desde el km 840 hasta Nicolás de Piérola existe una distancia de 4.0 Km aproximadamente, la vía de acceso es totalmente accesible, por encontrarse asfaltada y en perfectas condiciones de transitabilidad. De igual manera, existen empresas de transporte de pasajeros y carga con salidas diarias, así como de otras que unen las provincias indicadas y los distritos ubicados en las distintas partes de la provincia de Camaná.

### **1.3. Planteamiento del Problema**

El estado actual del servicio de abastecimiento de agua potable en el distrito de Nicolás de Piérola , en términos generales es precario en cuanto a calidad y cantidad, la principal fuente de abastecimiento de agua potable en los distritos de la ciudad de Camaná son provenientes de la captación de agua subterránea mediante pozos, se ha logrado identificar la presencia de un pozo tubular de propiedad de la Municipalidad de Nicolás de Piérola el cual es utilizado para dotar de agua potable a parte del poblado de San Gregorio , este pozo ha superado su capacidad de diseño , debido al incremento en la población en los últimos años del distrito, para dotar de agua a los nuevos asentamientos

humanos se utiliza también agua superficial , distribuyendo el recurso hídrico en camiones cisterna, el único tratamiento que recibe el agua superficial con la que se dota a parte de la población es la cloración para eliminar contaminantes biológicos

El siguiente cuadro evidencia el análisis de muestras de agua superficial, proveniente de las fuentes de abastecimiento de agua en los distritos aledaños a la ciudad de Camaná, cuyos resultados son los siguientes:

*Tabla 1.2: Análisis de Muestras de agua superficial en Camaná*

Muestra	Arsénico Total (mg/l)	Plomo Total (mg/l)	Cadmio Total (mg/l)
El Cardo	ND	1.249	0.086
Huacapuy	ND	1.253	0.086
San José	0.004	1.179	0.075
Camaná	0.008	1.129	0.110
San Gregorio	ND	1.021	0.108
LMP (mg/l)	0.1	0.1	0.003

(Mejoramiento de los sistemas de Agua Potable en la Ciudad de Camaná, Peñares, 2015)

Valdivia Peñares, 2014 afirma que: “Los habitantes de San Gregorio, están consumiendo 10.21 veces el LMP de Plomo Total y 36 veces LMP de Cadmio total” (pag.4). La aptitud del recurso hídrico subterráneo, depende de su calidad, de la disponibilidad y productividad respecto del uso requerido, el manejo inadecuado del acuífero, por ende afecta su reserva y productividad, generando un deterioro al que generalmente se les asocian otros procesos de degradación como la contaminación artificial y sobrexplotación.

El agua subterránea es fundamental para el desarrollo de la población ya que supone la mayor reserva de agua potable, a nivel global el agua subterránea representa más del 90% por lo que el conocimiento de este recurso, evaluación, explotación racional y conservación son de vital importancia para una planificación de una urbe futura de una manera sustentable.

Por ende, es necesario conocer la hidrodinámica del acuífero, para lograr una caracterización hidrogeológica, que logre cuantificar mediante parámetros obtenidos del acuífero, características con relación a la explotación y disponibilidad que se tiene de este recurso para tener una buena gestión, sin alterar su balance natural. (Maurits, 1989, p.34)

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Cuál es la influencia que tiene la caracterización hidrogeológica en el Sector de San Gregorio del Acuífero en la ciudad de Camaná para la explotación de agua subterránea?

#### **1.5. Objetivos de la investigación**

##### ***1.5.1. Objetivo general***

-Obtener los parámetros para la caracterización hidrogeológica del acuífero de Camaná en el Sector de San Gregorio.

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

-Elaborar una sección geológica, con información de la geología local e interpretación geofísica del Sector de San Gregorio en la ciudad de Camaná.

-Obtener los parámetros hidráulicos del acuífero, mediante el análisis de la prueba de bombeo realizada por el método de Jacob-Cooper.

-Obtener los parámetros físico-químicos de campo y parámetros inorgánicos de la calidad del agua subterránea en el pozo tubular de San Gregorio

-Obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo de la Facultad de Geología, Geofísica y Minas de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

### **1.6. Justificación de la investigación**

El desabastecimiento de la disponibilidad hídrica, debido a un alto índice de crecimiento poblacional en las últimas décadas en urbes no planificadas , generan conflictos los cuales están incrementando y que tienden a agravarse; si no se toman las medida necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificaciones normativas y leyes que permitan su protección y su distribución en forma racional, de manera contraria la sobreexplotación del recurso hídrico en el subsuelo y su deterioro en calidad es inminente. En este sentido es, necesario conocer cómo es que se genera el

agua subterránea del subsuelo, por lo anterior es indispensable contar con información que permita cuantificar dentro de lo posible la disponibilidad que se tiene de este recurso para mantener ese mismo régimen y tener una buena gestión sin alterar su balance natural.

## **1.7. Hipótesis de trabajo**

Teniendo conocimiento de ciertos aspectos como la geología local y la geofísica para la elaboración de una sección geológica; parámetros hidráulicos tales como la transmisividad, el coeficiente de almacenamiento y la conductividad hidráulica; y parámetros físico-químicos, e inorgánicos de calidad del agua, se puede caracterizar hidrogeológicamente el acuífero de Camana en el Sector de San Gregorio, con la finalidad de un mejor uso del recurso hídrico subterráneo, para tener un mayor entendimiento del proceso hidráulico existente en el acuífero, y de esta manera tomar medidas de prevención ante un eventual proceso de sobreexplotación o contaminación.

## **1.8. Alcances y limitaciones de la investigación**

### ***1.8.1. Alcances***

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de conocer las condiciones actuales, en parámetros de la calidad y de la disponibilidad hídrica del acuífero de

Camaná en el sector de San Gregorio, para un aprovechamiento adecuado del mismo, para abastecer la población del distrito de Nicolás de Piérola.

### ***1.8.2. Limitaciones***

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

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Introducción**

El presente capítulo aborda información recopilada bibliográficamente de la geología regional de la zona de estudio y la geología local realizada del sector de San Gregorio, esta última con fines de realizar sección geológica del sector donde se encuentra el acuífero. También se ha recopilado información de conceptos básicos de hidrogeología teniendo en cuenta el tipo de acuífero presente en la zona de estudio.

#### **2.2. Geología Regional**

Los afloramientos encontrados en esta región están representados por rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas que en conjunto alcanzan un espesor mayor de cuatro mil metros, la edad de la unidad estratigráfica más antigua representada por el complejo basal de la costa que data desde el precámbrico hasta el paleozoico superior, y la unidad estratigráfica más reciente está conformada por depósitos aluviales de edad reciente.

### **2.2.1. Geomorfología**

En el área de estudio pueden distinguirse a las que se han denominado: Faja Litoral, Cordillera de la Costa y Penillanura costanera (Pecho & Morales, 1969, p. 13)

#### **a) Faja Litoral**

Se ha designado así a una faja de terreno que se extiende entre el litoral y el pie de la cadena costanera hasta una altura de 500 m.s.n.m.; su ancho varía desde unos cientos de metros hasta más de 8,000 m. Dentro de esta unidad se distingue la ribera marina, las terrazas que forman las pampas del litoral, y los conos deyeativos.

La ribera marina comprendida dentro del área de estudio, se encuentra orientada de Noroeste a Sureste, con una longitud aproximada de 58 km. El ancho de playa varía desde 5m.; hasta más de 300m. en la parte central. En los extremos Sureste y Noroeste, dicha ribera ofrece playas estrechas con acantilados de más de 100 m. de altura labrados en la formación Camaná, el litoral de esta zona se caracteriza por un perfil de contorno irregular. La parte central, comprendida entre la pampa Jahuay al Noroeste y los Cerrillos al Sureste de Camaná, presenta la forma de un arco, con una línea de playa uniforme. Las terrazas y los conos deyeativos presentan una topografía suave con una pendiente hacia el Océano Pacífico,

moderada en las primeras y más acentuadas en los segundos, siendo el más importante el cono deyectivo del río Camaná.

Dicho cono deyectivo constituye una planicie que partiendo de San Gregorio aguas abajo, se va ensanchando progresivamente adoptando en conjunto una forma triangular, cuyos extremos ribereños, ubicados a inmediaciones de la hacienda Pucchun y la Punta, están separados 12 Kms. aproximadamente. Este abanico aluvial desde su inicio al Norte de San Gregorio, con una cota aproximada de 45 m.s.n.m. desciende con una gradiente topográfica bastante suave, cuyo promedio es del orden de 1 a 0.5%. También, existen zonas alejadas unos cientos de metros de la ribera marina y aún en lugares próximos a la ciudad de Camaná, que tienen una altura próxima o aún más baja que el nivel del mar, sitios donde en ciertas épocas del año aflora el agua subterránea, originando grandes aniegos.

### ***b) Cordillera de la Costa***

Con este nombre se conoce a un conjunto montañoso que se extiende con una orientación general de Noroeste a Sureste, muy próximo al litoral y en algunos tramos llega a formar parte de él. Alcanza elevaciones que llegan hasta los 1280 m. sobre el nivel del mar, con un ancho comprendido entre 15 y 25 km. El flanco Oriental de esta cordillera posee laderas suaves, mientras que el Occidental las tiene algo escarpadas.

Topográficamente presenta formas redondas, dando en conjunto un aspecto ondulado y suavemente disectado; a excepción de las “Lomas”, donde se advierte un modelado a manera de espolones alargados y algo aplanados.

### ***c) Penillanura Costanera***

Al Norte de la Cordillera de la Costa se extienden unos terrenos llanos, a suavemente ondulados, casi horizontales o levemente inclinados hacia el Oeste, a los cuales se les conoce con la denominación de “Pampas”, y que en conjunto constituyen una penillanura, a la que se le ha calificado de costanera por su ubicación geográfica. Esta unidad geomorfológica abarca más del 80% de área del cuadrángulo, con un ancho superior a los 50 km.; y una elevación promedio que fluctúa entre los 1000 á 1800 m.s.n.m., existiendo ciertas prominencias tal como el cerro Cuno Cuno que llega hasta los 2400 m.s.n.m. Esta superficie es conocida en la región como la Pampa de Majes, que en realidad viene a ser un conjunto de pampas cortadas por quebradas secas, anchas y de fondo plano.

Estas quebradas son relativamente poco profundas o muy superficiales, teniendo un recorrido casi recto las primeras y divagante las segundas. Entre las principales quebradas se tiene la de la Yesera, Pucayura, Pucahuayra y Manga; y entre las pampas destacan la del Cenizal, La Yesera, de los Ceniceros Rojos y del Viento. (Pecho & Morales, 1969, p. 15).

### **2.2.2. Estratigrafía**

La estratigrafía presente en el valle de Camaná presenta afloramientos representados por rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas que en conjunto alcanzan un espesor mayor a los 4000 metros, con una ausencia de rocas del Mesozoico, Cretácico Inferior y Jurásico superior estos dos últimos debido a que no hay presencia del grupo Yura en la zona de estudio, tampoco hay presencia de rocas del Terciario Inferior y Medio.

La información de la estratigrafía en el presente ítem, ha sido recopilada del boletín número 21 de la Geología de los cuadrángulos de Camaná y la Yesera 34-r y 33-q

#### **2.2.2.1. Complejo Basal de la Costa (Ppe-gn)**

Constituye un conjunto de rocas heterogéneas tanto metamórficas como intrusivas, que forman un macizo orientado de NO a SE. Este complejo está constituido fundamentalmente por gneis, diorita y granito rojo, hallándose primero en el lado Oriental y el segundo en el lado Occidental de la Cordillera de la Costa.

**Gneis.-** Regionalmente los afloramientos del gneis pueden distinguirse a los del granito rojo por su morfología, debido a su comportamiento frente a los agentes

erosivos, lo que ha dado lugar a zonas más agrestes, suavizadas en parte por depósitos cuaternarios que las cubren.

Sus mejores exposiciones se presentan en el valle de Camaná, en la quebrada Puluviñas, Jahuay y otros. El rasgo más saltante en casi todos sus afloramientos lo constituye la textura bandeada bastante definida; aunque también hay ocasiones en que el bandeamiento es algo difuso, cuyos elementos constituyentes tienen un tamaño mediano a fino. En el valle de Camaná, el gneis se presenta fracturado, algo esquistoso, anfibólico y con delgadas venas de cuarzo; notándose una milonización de los cristales de anfíbol.

**Diorita Gneisica (O-di).**-En el área de estudio, se ha encontrado una diorita gnésica con afloramientos de dimensiones reducidas, ubicados en el valle de Camaná. Además existe otro afloramiento muy pequeño, por lo cual no figura en el mapa, emplazado a la entrada de la quebrada Jahuay, el cual se encuentra muy erosionado, y cuyo contacto con el granito rojo no es muy bien definido, ofreciendo una zona migmatítica.

**Granito rojo (O-gr).**-Este granito constituye la intrusión más joven dentro del Complejo Basal, sus afloramientos no sólo se ven en valles y quebradas, sino también en las partes altas de la Cordillera de la Costa.

Sus mejores exposiciones quedan representadas en el valle de Camaná y la quebrada Jahuay, formando profundos cañones de paredes verticales que sobrepasan los 1000 y 600 mts de profundidad respectivamente.

Macroscopicamente se presenta con las siguientes características: color rosado a rojizo, a veces moteado de gris; textura macrogranular, holocristalino. (Pecho & Morales, 1969, p. 21)

#### **2.2.2.2. Grupo Tarma (Cs-ta)**

Se ha designado así a un conjunto de sedimentos cuyos afloramientos se hallan restringidos a una pequeña zona al Noroeste de la ciudad de Camaná, a lo largo de la quebrada La Chira y sus afluentes principales; así como al pie de los cerros Loma y la Caleta, formando acantilados. Descansan en discordancia angular sobre el Complejo Basal, y su contacto superior es discordante con el grupo Mitu. Además, también soportan a la formación Camaná en discordancia angular muy marcada y en parte se hallan cubiertos por depósitos clásticos del Cuaternario reciente.

En la quebrada La Chira, la parte superior está constituida por una secuencia de areniscas grises de grano medio a grueso, en capas bien definidas y bastante meteorizadas que se intercalan con horizontes de conglomerados finos. Los elementos de estos conglomerados están constituidos por gneis, granito rojo,

volcánicos de naturaleza andesítica y sedimentos donde predominan las cuarcitas, regularmente redondeadas. La parte inferior es lutítica, con algunas capas delgadas de areniscas grises de grano fino y estratos calizos de color gris amarillento con contenidos fosilífero.

El rumbo general de esta unidad está comprendido entre N 30° - 60°W y su buzamiento entre 25° a 35° al SO. Gran parte de estos afloramientos se encuentran cubiertos, por lo que no se ha podido hacer una medición completa de su grosor, pero sin embargo, se le puede estimar en más de 1200 m. basándose en varias secciones parciales, de los cuales se puede considerar que las 2/3 partes corresponden a una secuencia lutácea con delgadas intercalaciones de areniscas finas, cuarcitas y capas delgadas de caliza, y el resto a una secuencia de conglomerados con areniscas gruesas y lutitas. (Pecho & Morales, 1969, p. 23)

#### **2.2.2.3. Grupo Mitu (Ps-mi)**

Este grupo descansa en discordancia leve sobre el grupo Tarma y soporta en discordancia angular a la formación Camaná, estando a su vez cubierto en gran parte por depósitos del Cuaternario reciente. La litología observada, en la generalidad de los casos, consiste de lutitas arenosas brunas en estratos delgados, con areniscas arcillosas gris verdosas; areniscas arcólicas de grano medio a grueso y areniscas cuarzosas; finalmente, en la parte inferior conglomerados gruesos y finos. Además, dentro de esta secuencia se presentan sills de naturaleza andesítica

con una textura afanítica. Los conglomerados están constituidos por elementos de volcánicos andesíticos de color gris morado, cuarcitas, granito rojo y gneis, bastante redondeados y en una matriz arenosa de grano grueso y una coloración variable, predominando el gris verdoso y el chocolate. El tamaño de los rodados fluctúa entre 5 a 15cms. de diámetro y ocasionalmente es mayor de 30cms.

En general, las rocas de este grupo presentan un rumbo promedio de N°30- 60°W y un buzamiento de 20° a 30° SW formando una estructura monoclinal. El grosor total de este grupo es desconocido, pero se le estima en más de 1000 m.; siendo una de las mejores exposiciones la que se encuentra en la quebrada Leoncillos, tributaria de la quebrada La Chira. (Pecho & Morales, 1969, p. 26)

#### **2.2.2.4. Formación Camaná (Nm-ca)**

El nombre de esta formación fue introducido por M. Rivera V. (1959) al designar así a un conjunto de sedimentos marinos que forman parte de los afloramientos que se discuten en el presente informe. Dichos afloramientos se encuentran en el flanco Occidental de la Cordillera de la Costa, sobre una extensa plataforma de abrasión, extendiéndose en forma continua desde la ribera marina hasta unos 16 Km.

Tierra adentro, prolongándose a su vez a los cuadrángulos vecinos de Ocoña y Mollendo. Esta formación, tanto al Noroeste como el sureste de Camaná, forma

acantilados con más de 100 m. de altura, continuando dentro del continente a manera de pequeñas colinas a terrazas de erosión en algunos casos.

La formación Camaná tiene su contacto inferior en discordancia angular con el grupo Mitu, y soporta con aparente concordancia a la formación Pisco. En general, la formación Camaná se encuentra muy poco perturbada, mostrando en ciertas zonas pequeñas fallas o simplemente monoclinales de relativa amplitud, tal como se observa en los flancos Sureste y Noroeste de los cerros Cruceros y San Jacinto respectivamente, ubicados en la quebrada del Toro y la ciudad de Camaná, cuyos afloramientos se encuentran en las partes medias y bajas del flanco Oeste de la Cadena costanera, cubriendo mayormente a rocas del Complejo basal y en menor grado a las rocas del paleozoico superior.

La formación Camaná está constituida por capas subhorizontales de areniscas de grano fino a grueso y color amarillo claro, en las que se intercalan areniscas, limolitas y lutitas calcáreas de color claro o amarillo rojizo y arcosas de color gris claro amarillento.

También, dentro de dicha secuencia litológica se intercalan horizontes lenticulares de conglomerados finos a medios y capas o lentes delgados de coquinas y microcoquinas. (Pecho & Morales, 1969, p. 31)

#### **2.2.2.5. Formación Pisco (Nm-pi)**

Esta formación yace casi concordante sobre la formación Camaná y está cubierta con débil discordancia angular por terrazas marinas cerca del litoral. En su contacto inferior la formación se torna más sefítica que la infrayacente y hacia arriba los materiales volcánicos se van incrementando.

Los depósitos que se consideran como pertenecientes a la formación Pisco se encuentran principalmente en los cerros San Cristóbal, San Jacinto, La Salinas, partes altas de la quebrada Chirote y en la quebrada Bandurria. (Pecho & Morales, 1969, p. 36)

#### **2.2.2.6. Formación Moquegua (Nmp-mo)**

Esta formación fue estudiada por J. Adams (1906) en el valle de Moquegua, de donde proviene su nombre; más tarde G. Steinmann (1930) la subdividió en dos miembros. La formación Moquegua está compuesta por depósitos clásticos de distribución regional, los cuales se han acumulado a lo largo de una depresión de considerable amplitud comprendida entre las estribaciones occidentales de los Andes y la Cordillera de la Costa.

Sus afloramientos reconocidos y divulgados comienzan aproximadamente desde el paralelo 15° 15' de latitud Sur y se prolonga aún en territorio chileno. Tanto

regional como localmente, esta formación presenta un carácter estructural y morfológico que la hace fácilmente diferenciable de las formaciones con las que se relaciona, desde que sus estructuras son simples, generalmente carentes de pliegues así como fallas notables y su morfología es bastante llana. La formación Moquegua ha sido reconocida sólo en el cuadrángulo de la Yesera y en él se encuentran representados los dos miembros, estando el superior ampliamente expuesto en una gran extensión, mientras que el miembro inferior aflora únicamente en el extremo norte de dicha hoja.

Esta formación constituye un conjunto litológico de composición muy variada tanto vertical como lateralmente, ofreciéndose generalmente en capas y lentes irregulares, estos factores evidencian su origen continental en el que debió predominar copiosas lluvias y una erosión muy acentuada, capaces de arrancar y acarrear la enorme cantidad de materiales que constituyen esta unidad; lapso en el cual hubo también una actividad volcánica subaérea, cuyos depósitos, en parte, fueron posteriormente transportados por las aguas. (Pecho & Morales, 1969, p. 38)

#### **2.2.2.7. Conglomerado Pleistoceno (Qpl-al)**

Cubre grandes extensiones de la penillanura Costanera, se han encontrado una serie de depósitos de gran propagación con un grosor que supera los 150 metros.

Estos depósitos están compuestos de conglomerados y gravas intercaladas con capas y lentes de arenas, arcillas, tufos, y cenizas, semiconsolidados e imperfectamente clasificados, con una estratificación irregular y una posición casi horizontal.

Los conglomerados están conformados por elementos poligénicos, redondeados y subredondeados de dimensiones muy variadas, predominando los de diámetro comprendido entre 5 y 20 cm. Dichos rodados son de granito, granodiorita, diorita, gneis, cuarcita, riolita, traquita y otros, distribuidos en una matriz arenosa. (Pecho & Morales, 1969, p. 43)

#### **2.2.2.8. Terrazas Marinas (Qh-m)**

En el cuadrángulo de Camaná las terrazas marinas se encuentran bordeando el litoral a diferentes alturas sobre el nivel del mar, habiéndoseles considerado en 3 unidades, a las cuales se les ha denominado terrazas marinas de Camaná, Ocoña y recientes. Los sedimentos que constituyen las terrazas marinas de Camaná, se encuentran ubicados sobre los 200 m.s.n.m., y por tanto, de acuerdo a su altitud, son los más antiguos. Se les ha denominado así por ser el valle de Camaná donde se encuentran sus mejores exposiciones.

Otros afloramientos pequeños se ven en la carretera a Quilca, los cuales no han sido mapeados por ser de extensión muy pequeña. Están constituidos por

lumbaquelas y capas de conglomerados arenosos en matriz calcárea. (Pecho & Morales, 1969, p. 43).

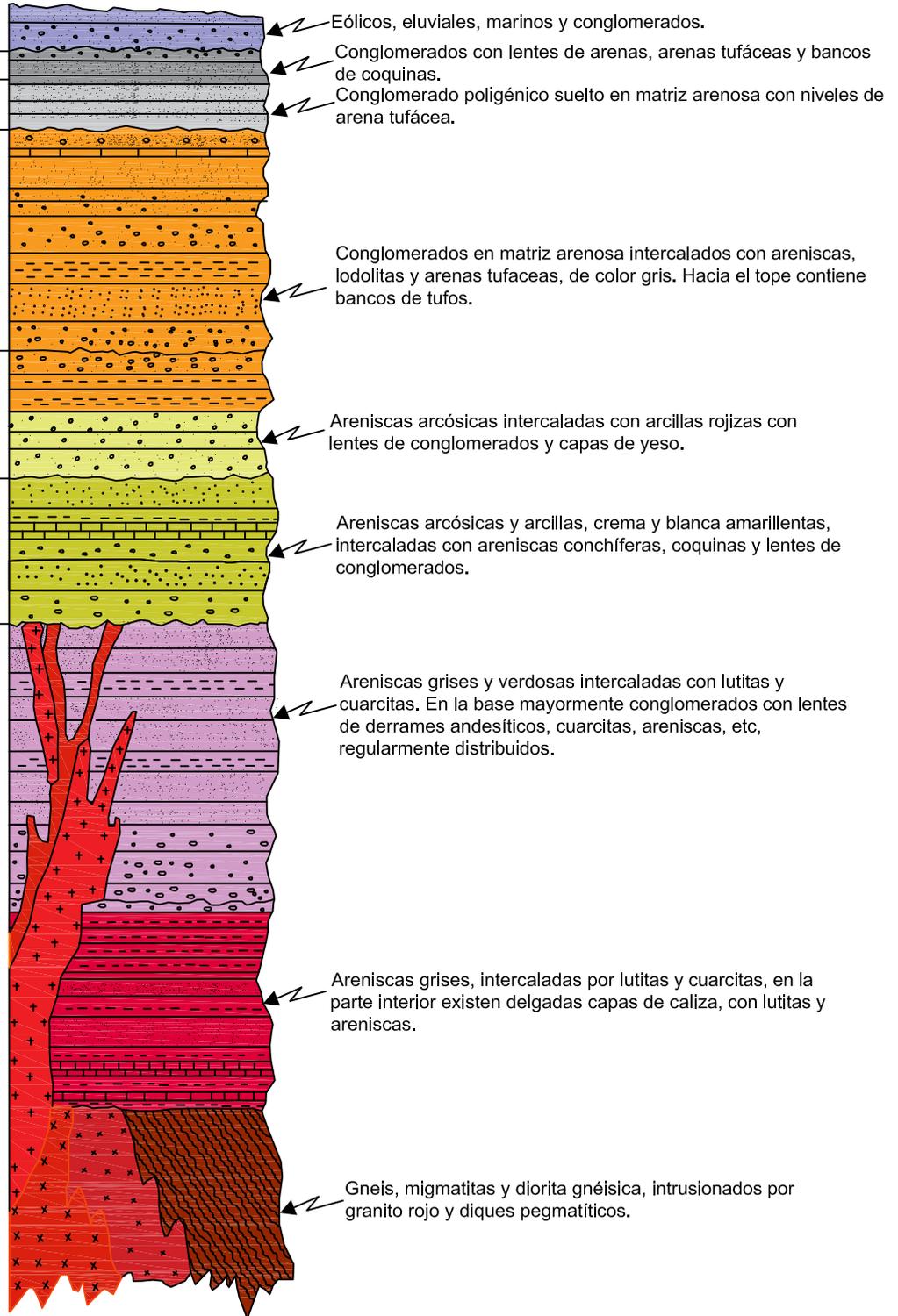
#### **2.2.2.9. Depósitos clásticos recientes (Qh-al)**

Bajo esta denominación se han considerado los depósitos aluviales, eluviales, fluviales, de playa y eólicos, que cubren a las formaciones más antiguas, habiéndose representado en los mapas solamente las áreas donde ocurren grosores y extensiones considerables.

Los depósitos aluviales son los más extensos y posiblemente los más viejos dentro de los clásticos recientes que se presentan en el cuadrángulo de Camaná. Conforman planicies a manera de terrazas en algunos valles, o abanicos deyectivos compuestos por arcillas, arenas, ceniza, conglomerados y gravas en matriz arenosa, cuyo grosor va desde algunos centímetros hasta más de una decena de metros. También, los depósitos aluviales se encuentran a lo largo de las laderas y quebradas de la Cordillera de la Costa, constituidos por acumulaciones de materiales heterogéneos sin estratificación y con una distribución caótica de sus elementos, llegándose a presentar bloques de dimensiones considerables dentro de una matriz areno-arcillosa. (Pecho & Morales, 1969, p. 44).



EDAD	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS
RECIENTE	Depositos Recientes
PLEISTOCENO	Terazas Marinas
	Congl. Pleistocenoico
MIO-PLIOCENO	FORMACIÓN MOQUEGUA
	Superior
	Inferior
MIOCENO SUP.	Formación Pisco
MIOCENO INF. OLIGOCENO SUP.	Formación Camaná
PERMICO SUP.	Grupo Mitu
PENSILVANIANO MEDIO	Grupo Tarma
PALEOZOICO SUP. PRE CAMBRIANO	Complejo Basal de la Costa



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

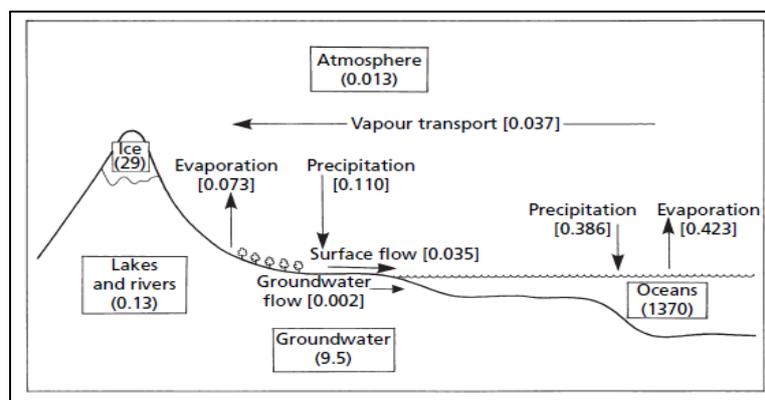
ESCALA:	1/20000	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA REGIONAL		
FECHA:	May-2017			
Departamento:	Arequipa	ELABORADO POR:	FUENTE:	LÁMINA:
Provincia:	Camaná	JESÚS AGUIRRE RAMOS	INGEMMET	01

## 2.3. Conceptos Básicos de Hidrogeología

### 2.3.1. Ciclo del agua

Un comienzo útil, para un enfoque holístico para vincular el agua subterránea con el agua superficial es adoptar el ciclo hidrológico como un marco de referencia único. El ciclo hidrológico representado en la fig. 2.1, puede ser pensado como una continua circulación del agua cerca de la superficie terrestre del océano a la atmosfera y luego vía precipitación, escorrentía superficial y flujo de agua subterránea vuelve al océano. El calentamiento por radiación solar causa la evaporación del agua en la atmosfera y transportada por los vientos terrestres donde el vapor se condensa y cae como precipitación. La precipitación también retorna directamente al océano, interceptada por superficies con vegetación y retorna a la atmosfera vía evapotranspiración, recolectando para formar la escorrentía superficial, o infiltrada dentro del suelo. La escorrentía superficial y el flujo de agua subterránea contribuyen a las corrientes superficiales y a los ríos que fluyen al océano. ( Hiscock & Bense, 2012, p.12)

Figura 2.1: Ciclo Hidrológico



(Hydrogeology Principles, Hiscock & Bense, 2012)

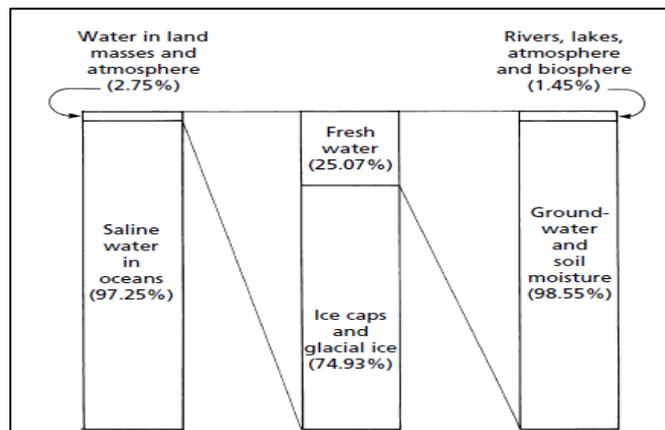
Tabla 2.3 : Inventariado de agua en la superficie terrestre

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

(Hydrogeology Principles, Hiscock & Bense, 2012)

Del total del agua del ciclo global, La tabla 2.1 muestra que el agua salada en los océanos cuenta con un 97.25%.

Figura 2.2: La distribución del agua en las proximidades de la superficie terrestre



(Hydrogeology Principles, Hiscock & Bense, 2012)

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

### **2.3.2. Elementos del ciclo Hidrológico**

**Precipitación:** La precipitación es un fenómeno discontinuo y sumamente variable en el espacio y en el tiempo. De acuerdo a su origen existen 3 tipos de lluvia: convectiva, frontal o ciclónica y orográfica.

**Evaporación (E):** Es la transformación de agua líquida en vapor que en definitiva significa que la evaporación es proporcional al déficit higrométrico diferencia entre la tensión de vapor del aire saturado a la temperatura del agua y la tensión de vapor de aire circundante.

El principal responsable de la evaporación, es la energía solar. El viento actúa movilizandando la masa de aire sobre la superficie sujeta a evaporación e impidiendo su condensación. La evaporación junto con la transpiración (evapotranspiración  $E_{vt}$ ) constituye variables de significativa importancia hidrológica, siendo frecuentes en muchas partes del mundo valores  $E_{vt}$  entre el 60 y 90% de la lluvia. La evaporación de un suelo sin vegetación se produce en la capa superficial, lo que genera un desequilibrio y el ascenso de agua más profunda por capilaridad.

**Transpiración (Tr):** Proceso físico-biológico por el que el agua líquida se vaporiza por acción del metabolismo de las plantas. El agua del suelo penetra por los pelos absorbentes de las raíces debido al proceso de ósmosis y llega a los vasos del tallo. La transpiración, que se produce por los estomas de las hojas, genera la succión necesaria para que el agua ascienda.

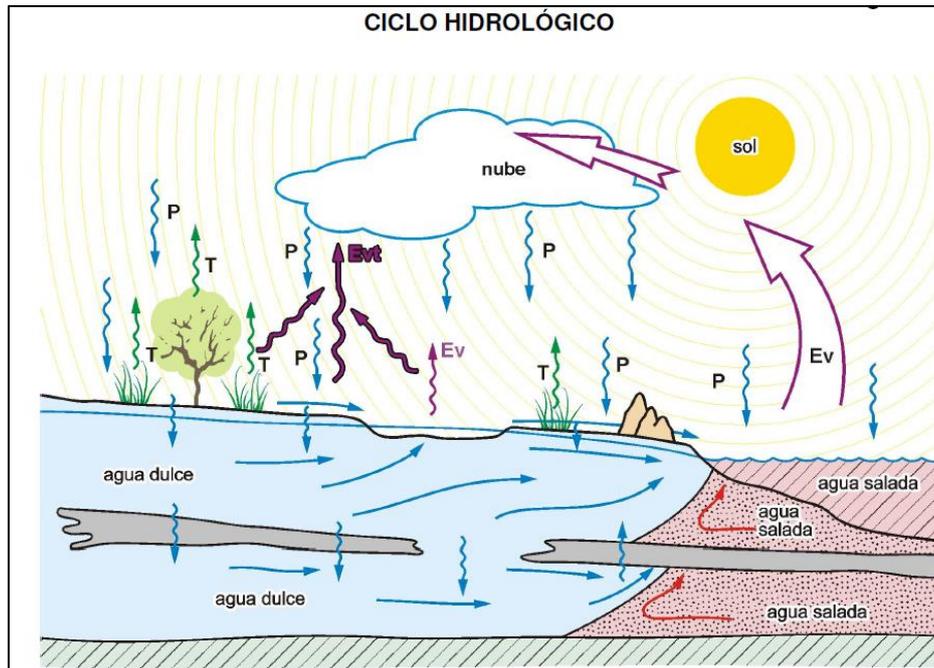
**Evapotranspiración (Evt):** Los dos procesos mencionados previamente, rara vez se producen aislados por ello, en hidrología generalmente se los trata en forma conjunta. La Evt, sólo se produce cuando el suelo tiene cobertura vegetal, de lo contrario, sólo se producirá evaporación.

La Evt depende de dos factores esenciales a) el grado de humedad del suelo b) el tipo y desarrollo vegetal; además también tienen influencia la temperatura y la humedad relativa del aire.

**Infiltración (I):** Es el proceso por el cual el agua pasa de la superficie al subsuelo. Si el agua infiltrada supera la zona de aireación y alcanza la superficie freática se denomina **infiltración efectiva**.

**Escorrentía superficial o escorrentía (Es):** El agua de lluvia que ni se infiltra ni se evapotranspira, escurre superficialmente, llegando a los cursos por cuatro vías diferentes: superficialmente, sub-superficialmente (escorrentía hipodérmica), subterráneamente (escorrentía subterránea) y directamente (Auge, 2005, p. 3-4)

Figura 2.3: Ciclo Hidrológico



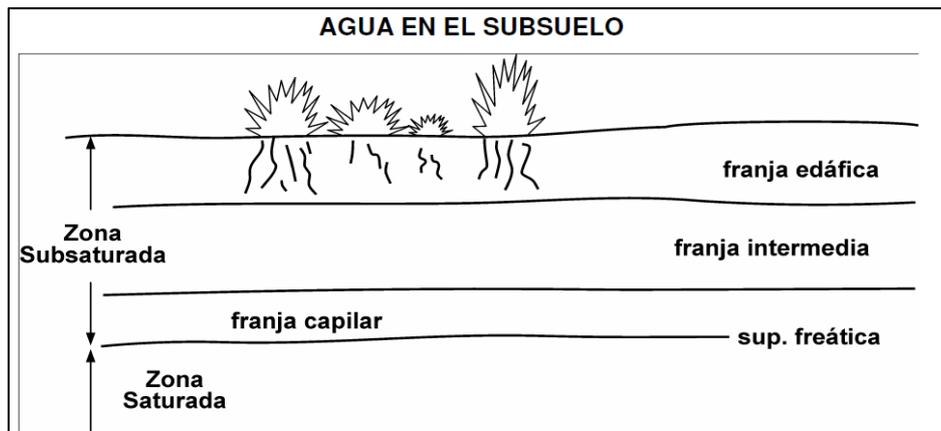
(Perforaciones Hidrogeológicas, Auge, 2005)

### 2.3.3. Distribución del Agua en el Subsuelo

Por debajo del suelo se distinguen dos zonas con comportamientos hidráulicos diferentes (subsaturada y saturada). La zona subsaturada, es la que se ubica inmediatamente por encima de la superficie freática y en ella coexisten los 3 estados de la materia (sólido, líquido y vapor). Posee gran trascendencia hidrogeológica, no sólo en el aspecto dinámico sino también geoquímico, pues en ella, particularmente en su franja más superficial (faja edáfica), es donde se produce la mayor incorporación de las sales solubles que caracterizan al agua subterránea del ciclo. Además, la zona subsaturada o de aireación, o no saturada, es un efectivo filtro natural frente a los contaminantes, en su recorrido descendente hacia la zona saturada, o del agua subterránea propiamente dicha.

La zona saturada, se desarrolla por debajo de la superficie freática y en ella coexisten solo líquido (agua) y sólido (granos). También se la conoce como zona del agua subterránea propiamente dicha, pues de ella es de donde captan los pozos. (Auge, 2005, p. 8)

*Figura 2.4: Agua en el subsuelo*



(Perforaciones Hidrogeológicas, Auge, 2005)

#### **2.3.4. Propiedades Físicas de los Acuíferos**

El agua de los acuíferos se encuentra alojada en los espacios vacíos o intersticios del medio geológico que lo constituye. Estos intersticios actúan a la vez como depósitos y como conductos, permitiendo así al acuífero cumplir con sus dos funciones de almacenar y transmitir el agua subterránea.

Las propiedades hidrogeológicas están determinadas por el comportamiento hidráulico de los acuíferos, para el caso el caso de acuíferos libres las propiedades hidrogeológicas predominantes son la conductividad hidráulica ( $k$ ), la

transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento, estas propiedades hidrogeológicas se utilizan para caracterizar el comportamiento hidráulico del acuífero y establecer sus leyes.

En general se establece que la velocidad con la que circula el agua subterránea es proporcional a una potencia del gradiente hidráulico, multiplicada por una constante de proporcionalidad denominada conductividad hidráulica.

Las propiedades físicas de los acuíferos engloban las propiedades hidrogeológicas, y estas han sido expresadas en una serie de parámetros, que son expuestos en presente siguiente ítem:

#### ***a) Intersticios***

Las diferencias en la cantidad, el tamaño, la forma, interconexión y disposición de los intersticios de acuífero, acuitardos y acucludos resultan de la gran diversidad de procesos geológicos por los cuales las rocas y los sedimentos fueron originados y más tarde modificados. Los intersticios de un material acuífero pueden ser divididos en dos grupos:

Primarios u originales y secundarios. Los primeros nacieron junto con las formaciones geológicas y los segundos son el resultado de procesos posteriores que modificaron las rocas y sedimentos después de su formación. (ENOHSa, 2008, p.5)

## ***b) Textura de los sedimentos***

De las diversas características texturales de un sedimento, la más importante, y frecuentemente casi exclusiva, es la determinada por el tamaño del grano (y su distribución).

Esta determinación se lleva a cabo mediante el análisis mecánico, principalmente por tamizado del sedimento normalmente mediante tamices superpuestos para hallar las cantidades (en peso) correspondientes a las diferentes fracciones de tamaño existentes.

*Tabla 2.4: Escala de clasificación de la textura de los sedimentos*

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

(Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008)

### ***c) Porosidad (n)***

La porosidad de una roca o sedimento es una medida de su espacio intersticial. Si se considera que el volumen total  $V_t$  de un material es la suma del volumen de su parte sólida  $V_s$  y del de sus poros o intersticios  $V_i$ , la porosidad puede definirse como la relación entre el volumen de espacios vacíos y el total, o sea

$$m = V_i / V_t$$

Pudiendo ser expresada como fracción decimal o como porcentaje.

En general una porosidad superior a 0.20 es considerada grande, entre 0.05 y 0.20 mediana y una menor de 0.05 pequeña. La porosidad de un depósito sedimentario no consolidado depende principalmente de la forma, disposición y grado de selección de sus partículas y sólo en segundo lugar del tamaño de grano. Sedimentos de grano fino suelen presentar una porosidad mayor que los de grano grueso, pero depósitos de grava pueden tener la misma porosidad que uno de arena.

La porosidad es menor en sedimentos mal seleccionados, donde los granos finos rellenan los espacios entre los grandes. La porosidad es clasificada en primaria y secundaria según corresponda uno u otro tipo de intersticios. Cuando una roca con porosidad primaria, por ejemplo una arenisca, es fracturada, constituye un sistema de doble porosidad, ya que coexisten los dos tipos. (ENOHSa Ente Nacional de Obras hidráulicas de saneamiento, 2008, p.6)

*Tabla 2.5: Rango de valores de la conductividad hidráulica y porosidad de los distintos materiales geológicos*

Material Geológico	Conductividad Hidráulica $K (m s^{-1})$	Porosidad, n
Depósitos fluviales (aluviales)	$10^{-5} - 10^{-2}$	0.05- 0.35
Depósitos glaciares		
-tillita basal	$10^{-11} - 10^{-6}$	0.30-0.35
-limo lacustrino y arcilla	$10^{-13} - 10^{-9}$	0.35-0.70
-arenas y gravas	$10^{-7} - 10^{-3}$	0.25-0.50
-loess	$10^{-11} - 10^{-5}$	0.35-0.50
Arenas	$10^{-10} - 10^{-5}$	0.05-0.35
Pizarra		
-no fracturada	$10^{-13} - 10^{-9}$	0-0.10
-fracturada	$10^{-9} - 10^{-5}$	0.05-0.50
Lutita	$10^{-12} - 10^{-10}$	0.35-0.45
Dolomita	$10^{-9} - 10^{-5}$	0.001-0.20
Caliza Oolítica	$10^{-7} - 10^{-6}$	0.01-0.25
Creta		
-primaria	$10^{-8} - 10^{-5}$	0.15-0.45
-secundaria	$10^{-5} - 10^{-3}$	0.005-0.02
Caliza coralina	$10^{-7} - 10^{-6}$	0.30-0.50
Caliza karstificada	$10^{-6} - 10^0$	0.05-0.50
Mármol fracturado	$10^{-8} - 10^{-5}$	0.001-0.02
Tufo volcánico	$10^{-7} - 10^{-5}$	0.15-0.40
Lava Basáltica	$10^{-13} - 10^{-2}$	0-0.25
Rocas ígneas y metamórficas	$10^{-13} - 10^{-5}$	0-0.10
-fracturadas y no fracturadas		

(Hydrogeology Principles, Hiscock & Bense, 2012)

#### ***d) Coeficiente de Almacenamiento (S)***

Es la cantidad de agua liberada por unidad de superficie del acuífero y por unidad de descenso del nivel piezométrico perpendicular a dicha superficie. Como el coeficiente se refiere a un volumen de agua por otro de acuífero, no tiene dimensión.

En acuíferos confinados los valores típicos se encuentran entre  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$ , en acuíferos semi- confinados entre  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$ , y en acuífero libres los valores oscilan entre 0,3 a 0,01. Esto se debe a que en un acuífero confinado el agua no es liberada por el drenaje de los intersticios sino por la compresión del acuífero, en particular de las capas de arcillas y limos intercaladas, (por eso también denominado coeficiente de almacenamiento elástico), y todo el material acuífero permanece saturado. (ENOHSa, 2008, p.6)

#### ***e) Porosidad Eficaz (S')***

Cuando el agua de un material saturado es drenado por la fuerza de gravedad, sólo se libera una parte del volumen total almacenado en los poros. La cantidad de agua que una unidad de volumen de un acuífero libre entrega por gravedad se llama porosidad eficaz o rendimiento específico.

La porosidad eficaz de algunos tipos de rocas y sedimentos es la siguiente:

*Tabla 2.6: Porosidad Eficaz de algunos tipos de roca*

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

(Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008)

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

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

### ***f) Conductividad Hidráulica (K)***

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

*Tabla 2.7: Rango de valores de la conductividad hidráulica*

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

(Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008)

### ***g) Transmisividad (T)***

Es una propiedad vinculada a la anterior e indica la capacidad de un acuífero de transmitir agua a través de todo su espesor y es igual a la conductividad hidráulica multiplicada por el espesor saturado del acuífero. En consecuencia es el caudal de flujo bajo un gradiente unitario a través de una sección transversal de ancho unitario de todo el espesor acuífero. Tiene las dimensiones longitud<sup>2</sup> / tiempo, por ejemplo m<sup>2</sup>/día. Un valor puede variar desde menos de 10 m<sup>2</sup>/d a más de 10.000 m<sup>2</sup>/d. Un acuífero con una transmisividad de 10 m<sup>2</sup>/d o menos, solo puede proveer agua suficiente para pozos domésticos u otros usos de bajo caudal. Cuando la transmisividad es de 100 m<sup>2</sup>/d o más, el caudal de los pozos puede ser adecuado para abastecimiento municipal, industrial o irrigación.

*Tabla 2.8: Rango de valores de la transmisividad asociados*

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

(Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008)

### ***h) Resistividad Hidráulica (c)***

Caracteriza a la resistencia de un acuitardo al flujo vertical, tanto ascendente como descendente, y se define como el cociente entre el espesor del acuitardo y la conductividad hidráulica vertical del mismo; tiene la dimensión de tiempo, generalmente días. Sus valores varían en un rango muy amplio, desde algunos

cientos a varias decenas de miles de días y para acuícludos es infinito. También se suele emplear su inverso denominado coeficiente de goteo, expresado en 1/día.

***i) Factor de Filtración (B)***

Es una medida para la distribución espacial de la filtración a través de un acuitardo a un acuífero semiconfinado o al revés. Se define como la raíz cuadrada del producto de la transmisividad por la resistividad hidráulica, o sea  $B = (T \cdot c)^{1/2}$ . Tiene la dimensión de longitud, por ejemplo metro. Valores altos de B indican una filtración reducida y valores pequeños una filtración alta. (ENOHSa, 2008, p.8)

***2.3.5. Acuíferos***

Se denomina acuífero a toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella, pudiendo extraerse en cantidades significativas mediante obras de captación. No todas las formaciones geológicas tienen capacidad de almacenar y transmitir agua, encontrándose formaciones que pudiendo contener agua no la transmiten en condiciones naturales y por lo tanto no es posible extraerla son los llamados acuícludos, otras formaciones que no son capaces de almacenar ni transmitir el agua subterránea, son impermeables y a estas se les llama acuífugos y por último encontramos lo acuitardos que son formaciones semipermeables, que transmiten el agua muy lentamente y que resulta muy difícil su extracción mediante obras de captación,

pero son importantes para la recarga de acuíferos subyacentes debido a la posible filtración vertical o drenaje.

### ***a) Tipos de Acuíferos***

En función a su estructura, tenemos:

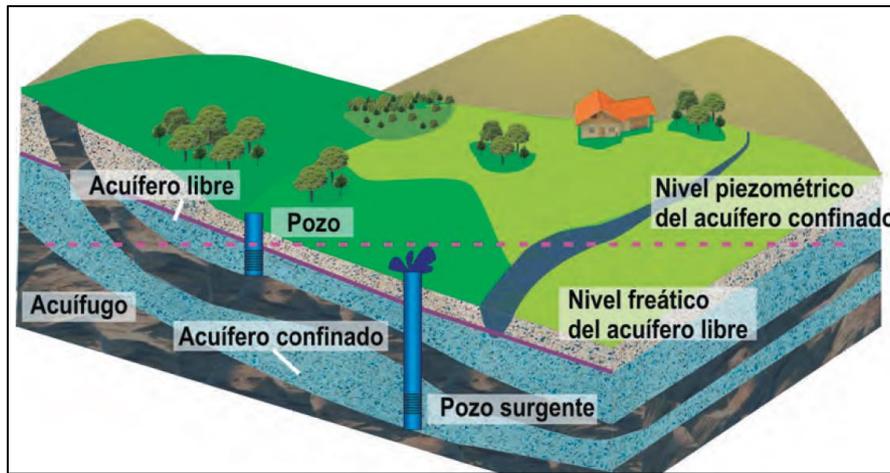
-Acuíferos libres, no confinados o freáticos: Son acuíferos cuyo piso es impermeable y su techo está a presión atmosférica. La recarga de este tipo de acuífero es directa y se realiza por infiltración del agua de lluvia a través de la zona no saturada o por infiltración de ríos o lagos. Son los más afectados en caso de sequía, ya que el nivel freático oscila con los cambios climáticos.

Pozos muy someros se ven afectados, cuando el nivel freático desciende hasta por debajo de la profundidad total del pozo.

-Acuíferos confinados, cautivos o a presión: Limitados en su parte superior por una formación de baja a muy baja permeabilidad. La presión hidrostática a nivel del techo del acuífero es superior a la atmosférica y la recarga es lateral.

-Acuíferos semiconfinados o semicautivos: Son mucho más frecuentes en la naturaleza que los cautivos. En estos, el techo, el piso o ambos, están formados por capas de baja permeabilidad que si bien dificultan no impiden la circulación vertical del agua. Los acuíferos semiconfinados se recargan y descargan a través de las unidades de baja permeabilidad denominadas semiconfinadas, filtrantes o acuitardos. (Collazo & Montaña, 2012, p.20-21)

Figura 2.5: Pozos en un acuífero libre y confinado



(Manual de Agua Subterránea, Collazo & Montaña , 2012)

### **b) Tipos de acuíferos en función de su porosidad**

La clasificación de los acuíferos tiene en cuenta su génesis, y se puede realizar en base a sus propiedades físicas o en base a criterios de rentabilidad (económicos). Los movimientos del agua subterránea son posibles solamente cuando existen vacíos conectados entre sí en el suelo o la roca. Si no existen vacíos de cualquier tipo, o si los vacíos existentes están aislados, no se producen movimientos del agua. En la clasificación de los acuíferos según al proceso de formación de la porosidad, se distingue:

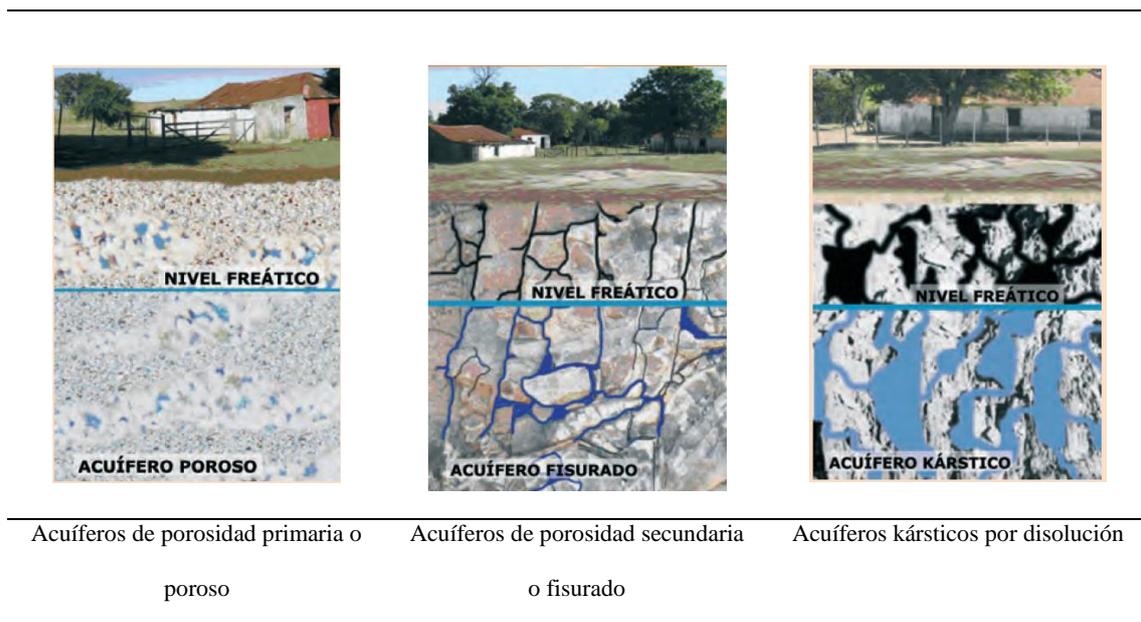
-Acuíferos de porosidad primaria, porosos o sedimentarios: Constituidos por formaciones geológicas sedimentarias. Los materiales suelen ser gravas y principalmente arenas, que varían su composición y tamaño en función de su origen geológico (fluvial, eólico, lacustre, glacial) .Estos materiales pueden estar

sueltos o no consolidados, generalmente son formaciones recientes, de edad cuaternaria o consolidados.

-Acuíferos de porosidad secundaria o fisurado: Formados por rocas “duras” de origen ígneo o metamórfico. La porosidad en estos acuíferos viene dada por la presencia de zonas de alteración, fracturas, fallas o diaclasas, la única forma que tiene el agua de almacenarse y de circular.

-Acuíferos kársticos por disolución: Compuestos por rocas de origen carbonático (calizas, margas, dolomías) donde la porosidad se desarrolla en forma secundaria por disolución del carbonato. El agua en estos acuíferos circula por entre los huecos con una velocidad mayor que en los acuíferos porosos o fracturados. (Collazo & Montaña, 2012, p.22).

*Figura 2.6: Clasificación de los acuíferos en función del tipo de porosidad*



(Manual de Agua Subterránea, Collazo & Montaña, 2012 )

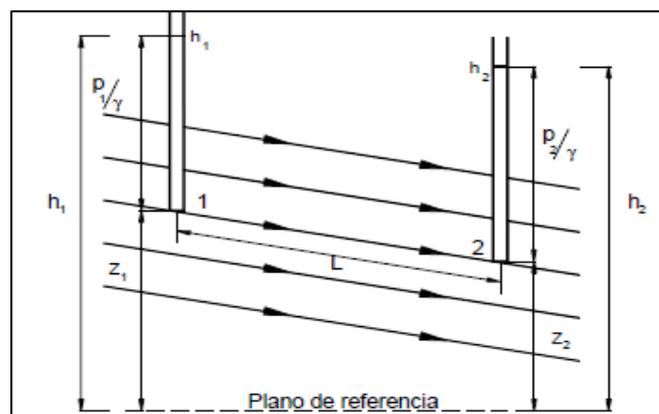
### 2.3.6. Movimiento del Agua Subterránea

En cada punto de un medio saturado existe en el agua una presión  $p$ , tal que si en ese punto se coloca un tubo vertical, el agua, de peso específico  $\gamma$ , sube en el mismo una altura de  $p/\gamma$ . Si se toma como referencia un cierto plano horizontal de modo que  $z$  es la elevación del punto en cuestión sobre ese plano, la altura del agua en el tubo es:

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

La altura total  $h$  así se denomina nivel piezométrico,  $p/\gamma$  es la altura de presión y  $z$  es la altura de elevación (generalmente la cota). Para que el agua subterránea pueda moverse de un punto a otro debe existir una diferencia entre los niveles piezométricos de ambos puntos. El movimiento se produce de un sitio de alto nivel a otro de bajo nivel piezométrico, independientemente de la presión existente en los mismos, pudiendo incluso desplazarse hacia un punto de mayor presión. (ENOHSa, 2008, p.9)

Figura 2.7: Sección vertical de un sistema de flujo de agua subterránea



(Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008)

### **a) Ley de Darcy**

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

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

Donde  $v$  = velocidad de flujo de Darcy

$h_1$  = nivel piezométrico en el punto 1

$h_2$  = nivel piezométrico en el punto 2

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

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

La velocidad de flujo se llama “de Darcy” porque se supone que el flujo ocurre a través de toda la sección transversal del material poroso, a pesar del hecho de que las partículas sólidas constituyen una gran parte del mismo.

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

Por definición el gradiente hidráulico es

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

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

$$Q = K.I.A$$

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

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

El criterio utilizado para distinguir un tipo de flujo del otro es el Número de Reynolds ( $R_e$ ), que relaciona el diámetro de las partículas o poros, la velocidad del fluido y su densidad y viscosidad. Trabajos experimentales mostraron que la ley de Darcy es estrictamente válida para  $R_e < 1$  y hasta que

$R_e = 10$  no se presenten errores importantes, siendo este último entonces su límite de validez.

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

### **2.3.7. *Hidráulica de Pozos***

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

- El acuífero es homogéneo, isótropo, horizontal, de espesor constante y de una extensión horizontal infinita.
  
- Hay un solo pozo en funcionamiento, bombeando un caudal constante.
  
- El filtro del pozo abarca todo el espesor acuífero.

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

***a) Régimen Transitorio en un acuífero Libre***

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

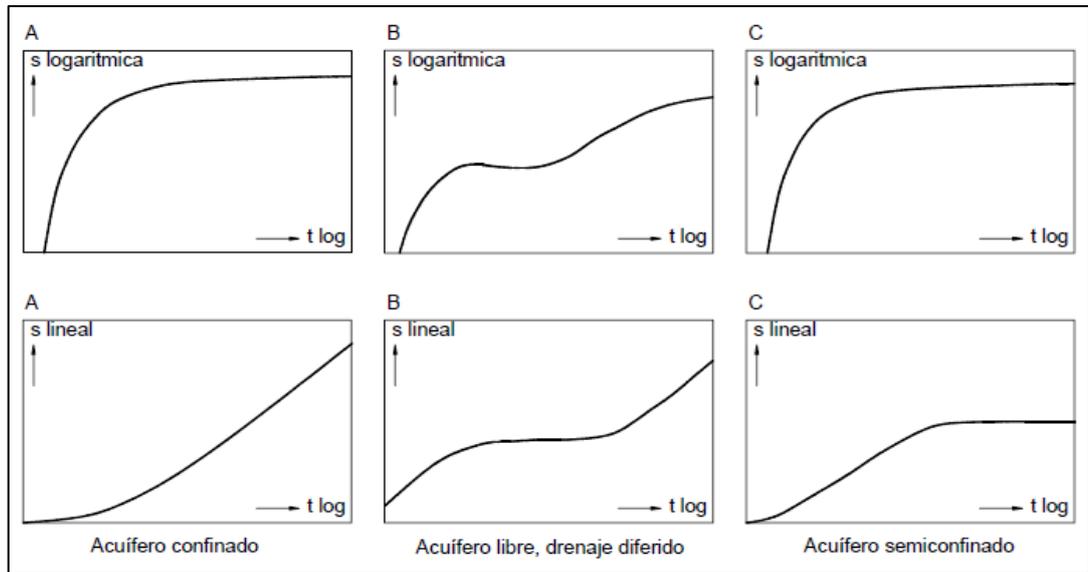
El primero, que puede denominarse el análisis completo, reconoce que el problema hidráulico de pozos en un acuífero libre involucra un sistema de flujo saturado - no saturado en el cual los descensos de la superficie freática son acompañados por cambios en el contenido de humedad de la zona vadosa encima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

La conclusión general de los estudios realizados es que la posición de la superficie freática durante el bombeo no es substancialmente afectada por la naturaleza del flujo no saturado encima de ella. En otras palabras hay poca

ventaja práctica en este enfoque y como las propiedades de la zona vadosa son extremadamente difíciles de medir in situ, esta solución de análisis completo es muy pocas veces aplicada. El segundo camino, que es de lejos el más sencillo, consiste en usar la misma ecuación del acuífero confinado pero con la función de pozo definida en términos de la porosidad eficaz en vez del coeficiente de almacenamiento. Además la transmisividad debe ser definida como  $T = K \cdot b$ , donde  $K$  es la permeabilidad y  $b$  es el espesor saturado inicial del acuífero. Jacob (1950) ha mostrado que este método conduce a depresiones bastante correctas siempre que la depresión sea pequeña en comparación con el espesor saturado total. En efecto el método se basa en las hipótesis de Dupuit-Forchheimer y falla cuando los gradientes verticales se hacen importantes. El tercer método, y el más usado en la práctica, se basa en el concepto de drenaje diferido.

Los trabajos pioneros corresponden a Boulton entre 1954 y 1963, con importantes aportes e innovaciones realizadas por Neuman entre 1972 y 1975. Puede observarse que en piezómetros adyacentes a pozos de bombeo en acuíferos libres los niveles de agua tienden a descender a un ritmo menor que el determinado por la ecuación de Theis y las curvas de depresión - tiempo en papel logarítmico muestran una típica forma de S acostada, en la cual pueden distinguirse 3 segmentos diferentes. (ENOHSa, 2008, p.16)

Figura 2.8: Curvas teóricas de tiempo-depresión en diferentes acuíferos



(Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008)

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

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

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Introducción**

Este capítulo aborda información relevante en cuanto a la metodología de la investigación utilizada en el presente trabajo, como el diseño de investigación utilizado, recolección de la información, el procesamiento, la interpretación e integración de los datos obtenidos en campo, tales como los parámetros como la prospección geofísica, parámetros físico-químicos de campo e inorgánicos de la calidad del agua subterránea y las pruebas de bombeo.

#### **3.2. Diseño de Investigación**

El diseño de investigación utilizado es diseño de Campo Experimental, el cual se basa en informaciones o datos primarios, obtenidos directamente de la realidad, su innegable valor reside en que a través de ellos se puede cerciorarse de las verdaderas condiciones en que se han conseguido los datos, haciendo posible su revisión o modificación en el caso de que surjan dudas respecto a su calidad, esto en general garantiza un mayor nivel de confianza para el conjunto de la información obtenida.

### **3.3. Recolección de datos**

Se recopiló información geológica, geofísica y climatológica actual y de los últimos años de relevancia, para realización del proyecto. Se obtuvo asesoramiento en cuanto a la información hidrogeológica por parte de la Autoridad Nacional del Agua, Administración Local de Aguas Camaná-Majes, área de agua subterránea. Se consultó bibliografía relacionada a agua subterránea e hidrogeología por parte de distintos autores, tanto en español como en idioma inglés, para la elaboración del marco conceptual.

Posteriormente la información fue seleccionada, dependiendo del tipo de bibliografía consultada y el campo de aplicación de la misma, para luego ser analizada para obtener una base de datos que ha sido utilizado en el presente estudio. Cabe mencionar que dentro de la bibliografía consultada, la más actual ha sido en idioma inglés, debido a que en Latinoamérica y España, el avance de la hidrogeología como ciencia, es considerablemente menor en comparación con los países industrializados angloparlantes, donde el agua es un bien cada vez más escaso y preciado.

### **3.4. Trabajo de Campo**

El trabajo de campo consistió de dos campañas, donde se corroboró en campo la información obtenida de la investigación bibliográfica y se pudo obtener nuevos datos para complementar el conocimiento del área de estudio para lograr la caracterización del acuífero en el sector de San Gregorio.

Los días 17, 18 de Septiembre del año 2015 se realizó la primera campaña, en la cual se realizó el inventariado del pozo de agua subterránea, recolección de datos para medir en detalle la calidad del agua subterránea con el multiparámetro GPS Aqua Meters SQUAREAD, y la toma de medidas de los niveles estáticos y dinámicos con la sonda acústica Nordmeyer, del pozo tubular de la Municipalidad de San Gregorio. En esta campaña se llevó a cabo conjuntamente con el ingeniero Ricardo Turkowsky, donde se obtuvo la información de calidad de agua de los pozos de la Ciudad de Camaná, sin embargo en el presente proyecto solo se está considerando la información tomada en campo del sector de San Gregorio.

En una segunda campaña en el mes de Octubre del año 2015 se realizó una prueba de bombeo en el pozo tubular perteneciente a la municipalidad de Nicolás de Piérola, el día 26 de Octubre.

Para lograr un mejor análisis de la caracterización hidrogeológica del Sector de San Gregorio, se recopiló la información de las resistividades aparentes y la distancia entre los electrodos de corriente de los Sondajes Eléctricos Verticales 01, 02, 04 y 05 del Proyecto de Mejoramiento de los sistemas de Agua Potable de la Ciudad de Camaná, donde se realizó una exploración Geofísica en la Zona de Captación del Proyecto, proyectada en Socso, distrito de Nicolás de Pierola, donde se ha proyectado una captación de agua subterránea a través de galerías filtrantes. Dichos trabajos de Campo fueron realizados por el Ingeniero Daino Alarcon, Consultor Geofísico. Sin embargo en el presente trabajo, el procesamiento de información de los sondajes eléctricos verticales y la elaboración de la sección geo eléctrica ha sido elaboración propia, con asistencia del especialista en agua subterránea de la Administración Local

de Agua Camaná-Majes el ingeniero Oscar Ticona Neyra, comparando los resultados obtenidos del estudio original y adaptándolos al objetivo de este proyecto.

#### ***3.4.1. Elaboración de la Geología Local***

Previo a la primera campaña de campo se elaboró un mapa topográfico y geológico en el software de licencia libre QGis, a una escala de 1:50,000 con la ayuda de la información obtenida del INGEMMET, y bibliografía consultada en diversas páginas de internet y boletines, en el cual se corroboró en campo la litología existente. En la primera campaña de campo se pudo contrastar la información anteriormente analizada in situ, elaborando un mapa geológico local del Sector de San Gregorio. Debido a la falta de cortes litológicos para detallar las unidades en el subsuelo se utilizó la prospección geofísica y el mapa geológico con escala 1:50,000, con la finalidad de realizar un corte litológico que comprometa la parte superficial, el acuífero y el basamento rocoso de la zona de estudio, para poder determinar el potencial del acuífero en la zona y calcular un espesor aproximado del mismo.

#### ***3.4.2. Prospección Geofísica***

La información de campo con respecto a la prospección Geofísica se ha recopilado los valores de la resistividad aparente  $\rho(\Omega\text{-m})$  y la distancia entre los electrodos de corriente  $AB/2$  (m) de los sondajes eléctricos verticales números 01, 02, 04 y 05 del Proyecto de Mejoramiento de los sistemas de Agua Potable de la Ciudad de Camaná (Ver Tabla número 3.1)

*Tabla 3.1: Datos de campo de los sondajes eléctricos verticales*

Sondaje 01		Sondaje 02	
AB/2 (m)	$\rho(\Omega\text{-m})$	AB/2 (m)	$\rho(\Omega\text{-m})$
3	27	5	30
5	30	7	32
7	28	10	35
10	35	15	37
15	41	30	52
35	58	50	66.5
50	70	70	72
100	85.5	100	84.5
Sondaje 04		Sondaje 05	
AB/2 (m)	$\rho(\Omega\text{-m})$	AB/2 (m)	$\rho(\Omega\text{-m})$
5	28	3	34
7	32	5	38
10	36	7	43
15	48	10	47
25	56	20	62
50	81	30	83
70	86.5	45	92
100	94	70	102
		100	114

(Mejoramiento de los sistemas de Agua Potable de la Ciudad de Camaná, Valdivia, 2014)

La configuración simétrica empleada fue de Schlumberger, la cual emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre electrodos centrales o de

potencial M y N se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores o también llamados electrodos de emisión de corriente A y B, a partir de electrodos interiores, a distancia múltiplos de (na) de la separación base de los electrodos internos (a).

La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la figura 3.1

Figura 3.1: Disposición Schlumberger en Sondajes eléctricos verticales

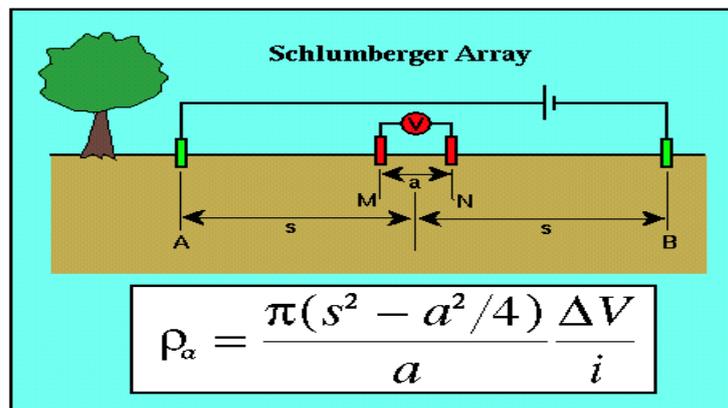


Figura de Esquema del método de resistividad eléctrica

$\rho_a$ = Resistividad Aparente (ohmio-metro)

$\Delta V$ = Diferencia de potencial (Voltio)

$I$ = Intensidad de corriente (Amperios)

$K$ = Coeficiente geométrico

AB= Electrodos de corriente

MN= Electrodos de potencial

### **a) Equipo utilizado**

Para la ejecución de los sondajes eléctricos se empleó un equipo geofísico apropiado para investigaciones de aguas subterráneas, denominado georesistivímetro, este equipo se complementa con los accesorios siguientes, carretes de cable eléctrico, electrodos impolarizables, y combas (Ver Plano 03).

*Tabla 3.2: Ubicación de los sondajes realizados*

Datum : WGS 84		Zona: 18 Banda : k	
SEV	Este	Norte	Cota( msnm)
01	743518	8167090	52
02	743447	8167091	50
04	743269	8167205	50
05	743197	8167110	49

(Elaboración Propia)

*Fotografía 3.1: Realización de Sondajes eléctricos verticales*



(Mejoramiento de los sistemas de Agua Potable de la Ciudad de Camaná, Valdivia, 2014)

### 3.4.3. *Inventario de pozos de agua*

En el mes de setiembre del 2015, se realizó el inventariado de pozos de agua subterránea en la ciudad de Camaná y alrededores, lográndose identificar en el Sector de San Gregorio, distrito de Nicolás de Piérola, un pozo tubular de propiedad de la misma municipalidad, cabe mencionar que dicho pozo en el momento en el que se realizó el inventariado no cuenta con un instrumento de medición del caudal, por lo que se realizó un aforo volumétrico del pozo en tres ocasiones, para obtener un valor promedio del caudal en dicha fecha, periodo de estiaje, por lo general el nivel estático de los pozos de agua subterránea en época de avenida es superior que en la época de los meses de estiaje. La Administración Local de Agua Camaná Majes, facilitó los permisos para acceder al pozo tubular ubicado en el Sector de San Gregorio.

*Fotografía 3.2: Pozo tubular en el sector de San Gregorio*



#### ***3.4.4. Parámetros físico-químicos de calidad de agua***

En el mes de setiembre del 2015, se realizó conjuntamente con el inventariado de pozos de agua subterránea, la toma de parámetros de calidad de agua con una sonda multiparámetro in situ. Para determinar las características físico-químicas del agua en el pozo de San Gregorio, se contó con un medidor portátil GPS Aqua Meters AQUAREAD , (Ver fotografía 3.3) , el cual mide la turbidez y la Conductividad Eléctrica, además de un pHmetro que incluye compensación automática por temperatura, además de cuantificar el material suspendido en el agua.

Se realizaron todas las tomas de los valores de los parámetros físico-químicos de campo del agua subterránea los cuales son el oxígeno disuelto, pH, Conductividad Eléctrica, Turbidez y temperatura, directamente en el cuerpo de agua, la lectura de los valores se realizó de forma inmediata tal como recomienda el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Ver Anexo E) , se utiliza la misma metodología descrita en el protocolo para aguas superficiales debido a que los parámetros fisicoquímicos de campo de las aguas subterráneas son los mismos, se realizaron tres mediciones para comparar si habían variaciones significativas, seguidamente se registraron los valores en un formato de campo, solamente se realizaron la toma de estos parámetros en el pozo tubular del sector de San Gregorio, debido a que este es el único pozo que abastece a todo distrito de Nicolás de Piérola de agua potable.

Cada vez que se realizaba una medida se limpiaba los equipos de muestreo, a fin de evitar posibles contaminaciones y deterioro, para la limpieza de los equipos se utilizó agua destilada y algunos utensilios para su adecuado mantenimiento.

La toma de muestras de parámetros inorgánicos del agua subterránea del pozo tubular de la localidad de San Gregorio estuvo a cargo de la empresa Laboratorios Analíticos del Sur, el informe de ensayo con los resultados se muestra en la sección de anexos. (Ver Anexo C).

*Fotografía 3.3: Obtención de datos de calidad de agua con el multiparámetro*



Multiparámetro portátil Aqua Meters AQUAREAD, utilizado para medir los parámetros físico – químicos de campo ( T°, pH, Conductividad Eléctrica y Total de Solidos Disueltos) de calidad de agua subterránea

### 3.4.5. Pruebas de Bombeo

Las pruebas de bombeo tienen por objetivo determinar las características hidráulicas del acuífero y proporcionar datos necesarios para determinar la capacidad específica para seleccionar el equipo de bombeo adecuado y demás equipamiento. La prueba de bombeo se realizó el día 26 de Octubre del 2015, donde se verificó previamente que el pozo había parado su bombeo por un periodo de tiempo de 24 horas antes de empezar la prueba, previa notificación escrita a la Municipalidad de Nicolás de Piérola, esto para obtener unos valores verdaderos de las mediciones de los niveles estáticos y dinámicos.

*Fotografía 3.4: Descenso a la base del pozo para la toma de medidas de nivel estático*



En la fotografía se observa al operador descendiendo hasta la base del pozo tubular para tomar las medidas de nivel estático, y posteriormente el descenso progresivo de los niveles dinámicos

“La metodología para realizar una prueba de bombeo consiste en bombear un pozo que esté perforado en el acuífero que se desea estudiar, durante un cierto tiempo, a un determinado caudal y medir la evolución del nivel piezométrico debida al bombeo, tanto en el mismo pozo de bombeo como en piezómetros y pozos cercanos”. (ENOHSa, 2008, p.6)

La información preliminar con la que se debe de contar, para la realización de una prueba de bombeo, es la geología e hidrogeología superficial, con el motivo de conocer las características en la zona de estudio. Previa a la realización de la prueba de bombeo, se reconoció en campo la información recopilada de la geología y geomorfología, la cual permite optimar el número y la localización de pruebas.

Para la elección del sitio de prueba, solo se considera el único pozo tubular en el sector de San Gregorio, distrito de Nicolás de Piérola, sin embargo previo a esto es importante considerar las condiciones hidrológicas del sitio, conocer el equipamiento mecánico del pozo tubular, y sobre todo saber si es que existe un pozo de observación adecuado para utilizarlo en la prueba de bombeo.

En este caso la toma de medidas de los niveles estático y dinámico para la prueba de bombeo fueron realizadas en el mismo pozo debido a que no había la presencia de un pozo de observación o piezómetro y se corroboró que no habían otros pozos de agua cercanos en la localidad de San Gregorio que sirvieran para este propósito.

*Fotografía 3.5: Realización de la prueba de bombeo en el pozo de San Gregorio*



El operador de agua realiza la prueba de bombeo, midiendo el descenso del nivel del agua con ayuda de la sonda acústica, estos valores son anotados en el formato utilizado para las pruebas de bombeo

Con el reconocimiento previo en campo de la geología en la zona de estudio, y la recopilación de información de casos similares vistos el boletín de la sociedad geológica del Perú , El Modelo Hidrogeológico de los acuíferos costeros del Perú descrito por Yaakov Gilboa , se determinó que el acuífero es aluvial y libre, la prueba de bombeo se realizó en la unidad litológica perteneciente a Depósitos clásticos recientes del tipo aluvial, con esta información se determina el método para la elección de la prueba de bombeo, el cual es “Método Jacob-Cooper (1946)” (Ver Tabla 3.3).

Tabla 3.3: Métodos de ensayo a caudal constante

Tipo de acuífero	Tipo de ensayo		Método de análisis
Confinado	Régimen permanente		Fórmula de Thiem
	Régimen variable	Prueba en	Fórmula de Theis
		descensos	Aproximación logarítmica de Jacob
Semiconfinado		Recuperación	Fórmula de recuperación de Theis
	Régimen permanente		Fórmula de De Glee o de Jacob-Hantush
	Régimen variable	Descensos	Fórmula de Hantush
		Recuperación	Estudio de ascensos teóricos (1) Fórmula de Thiem (2) y corrección de Jacob
Libre	Régimen permanente		Fórmula de Dupuit (3) Fórmula de Theis (4)
	Régimen variable		<b>Aproximación logarítmica de Jacob (4)</b>
		Prueba de	Corrección de Dupuit
		descensos	Fórmula de Boulton Fórmula de Neuman
		Recuperación	Fórmula de recuperación de Theis (2)

(Principios Básicos de Hidrogeología, ENOHSa, 2008)

- (1) Si el bombeo es lo suficientemente largo como para que los niveles se estabilicen, los ascensos teóricos coinciden con los medidos
- (2) Si los descensos son pequeños en comparación con el espesor saturado del acuífero
- (3) Admitiendo la aproximación de Dupuit-Forchheimer
- (4) Si los descensos son pequeños en comparación con el espesor saturado del acuífero y si el drenaje es instantáneo y proporcional al descenso producido ( no existe drenaje diferido)

El método conocido como de "Jacob" (Cooper y Jacob, 1946) es una solución del método de Jacob modificado en condiciones de no equilibrio, es usado para determinar las propiedades hidráulicas de almacenamiento específico y transmisividad de un acuífero libre.

La realización de la prueba de bombeo es medir el abatimiento del nivel piezómetro en el pozo de observación y en el bombeo durante toda la prueba. Como el abatimiento y la

recuperación de los niveles son mayores durante las primeras dos horas, las lecturas se realizan en intervalos cortos, esta se aumentan proporcionalmente conforma se prolonga el bombeo. Para la toma de medidas se utilizó una sonda acústica de marca Nordmeyer de 100 m de longitud graduada cada metro con un electrodo en la punta de aproximadamente 10 cm.

Antes de comenzar la prueba de bombeo se tomó las coordenadas en UTM con Datum WGS84 con un gps navegador Garmin etrex, se midió la altura del brocal y el diámetro de la tubería con un flexómetro y el nivel estático con la sonda descrita anteriormente.

*Fotografía 3.6: Sonda acústica utilizada en la prueba de bombeo en el pozo de San Gregorio*



Las mediciones del nivel estático se obtuvieron introduciendo la sonda por un costado del pozo, ya que no se contaba con un pozo de observación cercano ni un piezómetro, cuando el electrodo entraba en contacto con el agua, esta emitía un sonido marcando de esta manera la lectura que correspondía, anotando el valor en un tabla, este procedimiento continuó hasta llegar al nivel estático, y se repite el procedimiento de la toma de datos con la sonda acústica para la etapa de recuperación.

### **3.5. Procesamiento de Información**

#### ***3.5.1. Prospección Geofísica***

Se obtuvieron datos de 4 sondeos eléctricos, con el dispositivo Schlumberger, el sondeo eléctrico vertical permite conocer la distribución de las diferentes capas geoelectricas, es decir determina la resistividad del subsuelo con la profundidad, haciendo mediciones a lo largo de una línea dada en incrementos crecientes de distancia entre los electrodos de emisión o de corriente A y B, luego midiendo la diferencia de potencial producido por el campo eléctrico así formado entre otro par de electrodos llamados electrodos de recepción M y N.

Para el procesamiento de datos con el software IPI2Win se obtuvieron los modelos , que están representados por las curvas de datos en color negro, acompañadas de las curvas teóricas en color rojo, y los parámetros del modelo para el sondeo estudiado, es decir de las resistividades verdaderas y espesores verdaderos vienen dados por una línea en azul, indicándose además en las tablas adjuntas la resistividad verdadera  $\rho$ , el espesor h y el error, este representa la

diferencia relativa entre la curva teórica y la curva de campo de resistividad aparente.

El software IPIWin está diseñado para la interpretación automática o semiautomática de datos de sondeo eléctrico vertical obtenidos con varios de los arreglos utilizados con más frecuencia en la prospección eléctrica. Para comenzar el proceso de interpretación es necesario un archivo de datos con cierto formato, conteniendo la información sobre el sistema de mediciones y los valores de resistividad aparente los cuales forman una curva empalmada (\*.dat).

#### ***4.4.2. Procesamiento e interpretación de los parámetros físico-químicos e inorgánicos de calidad de Agua***

Luego de la recolección de información con el multiparámetro en la misma fuente subterránea, se procede a la interpretación de la información obtenida, comparando los parámetros con los límites máximos permitidos publicados por DIGESA para fuentes de agua para uso poblacional (Ver Anexo F). El primer parámetro físico-químico de campo a interpretar es el pH, el cual determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrógeno presente, la concentración ión hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia. Según la EPA los valores recomendados son de 6.5 a 8.5 unidades de pH, el pH recomendable según la OMS es de 6.5 a 9.5.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante, debido a la influencia sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y

velocidades de reacción. De igual manera es un indicador que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, déficit de oxígeno y la Conductividad Eléctrica. Las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de hongos. Según la legislación canadiense para agua de consumo la concentración máxima aceptable de temperatura es de 15°C, la temperatura aceptable para el consumo humano para una concentración máxima aceptable de 15°C, cabe mencionar que la temperatura no es un factor de riesgo a la salud, porque no está en contacto directo.

La Conductividad Eléctrica depende de la actividad de los tipos de iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida. La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición. El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma. A partir de la conductividad se puede obtener los sólidos disueltos multiplicando por un factor entre 0.55 y 0.75. Según la comunidad europea, recomienda valores de 1500  $\mu$  mho/cm.

La turbidez se debe a la presencia de materias diversas en suspensión, tales como arcillas, limos, coloides orgánicos y otros organismos microscópicos estas partículas de dimensiones variables que van desde los 10 nm hasta los 0.1 mm de diámetro.

Desde el punto de vista del agua potable se suelen correlacionar valores altos de turbidez asociados a la aparición de bacterias y virus, los compuestos orgánicos productores de turbidez poseen un notable efecto absorbente sobre las posibles plaguicidas existentes en el agua subterránea, dificultando así su eliminación, para medir este parámetro se utiliza el método nefelómetro que mide la radiación a 420 nm dispersada por partículas en suspensión cuando incide la muestra de agua en un rayo luminoso, según la propuesta nacional para aguas destinadas a consumo humano el valor de la turbidez debe ser menor a 5 UNT Unidad Nefelométrica de Turbiedad.

El parámetro de sólidos disueltos totales son producto de la erosión de los suelos y detritus orgánicos, los sólidos suspendidos como limo y arena son generalmente los responsables de las impurezas visibles, la materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Los sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua, las aguas subterráneas con abundantes sólidos disueltos suele ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor. Según la propuesta nacional, y las recomendaciones propuestas por la SUNASS para aguas destinadas para consumo humano deben ser menores de 1000 mg/L.

El procesamiento de información de los parámetros inorgánicos de calidad de agua del pozo tubular de San Gregorio se han realizado con los datos del ensayo realizado por Laboratorios Analíticos del Sur, para el procesamiento se han

realizado los diagramas de Piper, diagrama de Stiff y diagrama de Schoeller. donde se incluyen aniones y cationes en forma simultánea, se compara los parámetros inorgánicos del pozo de San Gregorio con los parámetros inorgánicos de un manantial en el sector de Huantay, cabe mencionar que dicho manantial cuenta con licencia de uso de agua con fin de uso poblacional, por lo tanto todos sus parámetros inorgánicos cumplen con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano el D.S. N° 031-2010-SA, promovido por el ministerio de salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental DIGESA, donde se establece las normas sanitarias contempladas en dicho reglamento son de obligatorio cumplimiento (Ver Anexo F).

#### ***4.4.3. Procesamiento e interpretación de la Prueba de bombeo***

Posteriormente de haber realizado la prueba de bombeo en la unidad estratigráfica perteneciente a los Depósitos clásticos recientes del tipo aluvial, en el pozo tubular del Sector de San Gregorio distrito de Nicolás de Piérola, se procedió al procesamiento de los datos obtenidos en campo, la información de las fichas de campo se digitalizaron en tablas en formato Excel para la facilitación de la depuración e interpretación respectiva de los datos (Ver Anexo A). Luego de esto se procedió a obtener los valores del descenso (s) y descenso residual (s<sup>∧</sup>).

Para la elaboración de gráficos se verificó las unidades con las que se va a trabajar, el Nivel Dinámico y el descenso y descenso residual en metros, y el tiempo en minutos, una vez completados todos los datos de las columnas de procedió a representar el ensayo de bombeo tanto de descenso como de

recuperación. Para la gráfica log tiempo vs. log descenso se transformó el eje de las ordenadas en escala logarítmica, una vez que se obtuvieron los datos en las unidades respectivas para el procesamiento se procedió a realizar la gráfica solamente en la etapa de bombeo. (Ver Anexo B).

Para la gráfica en la etapa de recuperación, que se registra después de suspender el bombeo, teóricamente se puede considerar que el bombeo ha sido mantenido constantemente con un caudal  $+Q$ , pero que interviene un segundo bombeo con un caudal  $-Q$ , el cual anula al primero. Bajo estas condiciones si  $t$  es el tiempo registrado a partir del comienzo del bombeo y  $t'$  es el tiempo contado a partir del paro de la bomba, el descenso residual  $s'$  de la curva de recuperación es la diferencia entre el descenso causado por el bombeo con gasto  $+Q$  y el abatimiento debido al bombeo  $-Q$ .

Para la elaboración de esta gráfica el tiempo ( $t$ ) se transformó a la forma  $(t+t'/t')$ , donde:

$t$  = tiempo total de bombeo en minutos.

$t'$  = tiempo a partir de que empezó la recuperación en minutos.

Luego de que se ha transformado a estas medidas, se representó el eje de las ordenadas en escala logarítmica y sus respectivos descensos ( $s$ ) en el eje de las abscisas en escala lineal.

Para la interpretación de las gráficas de bombeo y recuperación se utiliza el método elegido para la interpretación de las pruebas de bombeo fue el método de Jacob- Cooper (1946), donde:

$$T = 0.183 \frac{Q}{m}$$

$$S = \frac{2.25 T t_o}{r^2}$$

Dónde:

-T es la transmisividad en m<sup>2</sup>/d.

-Q es el caudal de bombeo en m<sup>3</sup>/d.

-m es  $\Delta(h_0-h)$  descenso por ciclo logarítmico de tiempo, o en la ecuación general de la curva de tendencia es la pendiente.

-S es el coeficiente de almacenamiento (adimensional)

-r es la distancia del pozo de observación al pozo de bombeo o el radio del pozo en metros.

-t<sub>0</sub> es el tiempo, donde la curva intersecta el eje de las abscisas en segundos.

Para el cálculo de la conductividad hidráulica (k) se hace por medio de la siguiente ecuación:

$$k = \frac{T}{b}$$

-k es la conductividad hidráulica en m/d

-T es la transmisividad en m<sup>2</sup>/d.

-b es el espesor saturado total del acuífero en metros o el espesor saturado cortado por el pozo.

Para interpretar los parámetros hidráulicos obtenidos, se puede comparar los valores de la conductividad hidráulica tanto de la fase de descenso y recuperación con el rango de valores de la conductividad de la Tabla 2.7, de la misma manera se puede comparar los valores de la transmisividad con los valores de la Tabla 2.8, aproximando una clasificación y posibilidades del acuífero en el Sector de San Gregorio.

## **CAPÍTULO IV**

### **CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE CAMANÁ, SECTOR SAN GREGORIO**

#### **4.1. Introducción**

El presente capítulo aborda la información necesaria para poder determinar el modelo conceptual integral que define el comportamiento hidrogeológico del Acuífero de Camaná, en el sector de San Gregorio, el cual se obtuvo a través del procesamiento de los datos obtenidos en las campañas de campo. Los resultados que se muestran en este capítulo son la geología local, interpretación geológica-geofísica, inventario de pozos, parámetros hidráulicos, y los parámetros físico químicos de campo e inorgánicos de calidad de agua del acuífero, todos estos parámetros son a escala local y a continuación se describe cada uno de ellos.

#### **4.2. Geología Local**

##### ***4.2.1. Geomorfología***

Dentro del área de estudio se encuentra la unidad geomorfológica denominada Faja Litoral, la cual comprende un cono deyectivo, constituido por una planicie que partiendo desde San Gregorio aguas abajo se va ensanchando adoptando una

forma triangular. La Parte inferior de la Formación Camaná (Nivel A) puede interpretarse como la llanura de un delta que hacia el tope migra hacia el frente de un delta, en la parte superior de la Formación Camaná (Nivel B) se distinguen facies conglomeradicas típicas del canal de un delta.

#### **4.2.2. Rocas Intrusivas**

**Granito Rojo.**-Esta roca se presenta en forma de stocks, diques y pequeños apófisis instruyendo a los gneis. Es de color rojizo a gris claro, de grano medio a grueso; a simple vista se reconocen los siguientes minerales: ortosa, cuarzo, plagioclasas, biotita y hornablenda. La ortosa es el mineral más abundante y ocurre en cristales anhedrales de coloración rosada; el cuarzo es hialino, de brillo vítreo, la plagioclasa es de coloración blanco lechosa y ligeramente rosada y se presenta en menor proporción.

*Fotografía 4.1 Granito Rojo*



**Diorita Gneisica.-** En general, estos afloramientos son de color gris oscuro a gris verdoso con una textura granular (gruesa a media). Uno de los afloramientos más amplios, aunque en forma discontinua, se encuentra al Norte de San Gregorio que forma parte de los flancos del valle, la cual se ha denominado diorita San Gregorio. La relación de contacto de esta diorita con el granito rojo no siempre es clara, presentándose a veces confusa y gradacional, donde el granito rojo al inyectarse ha originado una migmatización local. En las zonas alteradas se hace más esquistosa y oscura, aumentando la concentración de minerales ferromagnesianos.

*Fotografía 4.2: Vista Panorámica Sector San Gregorio*



Se observa en la parte derecha de la fotografía instruyendo la diorita gnéisica, y en el flanco izquierdo del valle el Granito Rojo.

#### **4.2.2. Formación Camaná (Nm-ca)**

Esta formación soporta con aparente concordancia a la Formación Pisco, esta unidad estratigráfica clástica marina reportada para finales del Oligoceno y el Mioceno en el Sur del Perú. En el sector de San Jacinto puede diferenciarse la Formación Camaná en dos niveles que denominaremos nivel A y nivel B.

El nivel A de arreglo grano decreciente, en la parte inferior de esta serie se observa superficies de erosión irregular, luego le sigue una secuencia constituida por conglomerados de cantos y gránulos, areniscas de grano grueso que poseen fragmentos líticos algunas conchillas calcáreas rotas cementadas, en la parte superior se observan limolitas y areniscas líticas de grano medio.

El nivel B es de arreglo granodecreciente la parte inferior constituida por conglomerado y areniscas de grano medio también hay presencia de barras de areniscas líticas de grano medio.

*Fotografía 4.3: Formación Camaná*



Formación Camana Nivel A, ubicada en la Quebrada Bandurria flanco derecho del valle de Camana Sector de San Gregorio

#### **4.2.3. Formación Pisco (Nm-pi)**

Esta formación yace concordantemente sobre la Formación Camaná, la Formación Pisco es una secuencia del mioceno de color amarillento, litológicamente está conformado principalmente por estratos delgados de areniscas finas, arcillitas y hay presencia de algunas capas de yeso, esta formación aflora oeste del sector de San Gregorio pasando por las quebradas Bandurria en el sector de San Jacinto

#### **4.2.4. Depósitos clásticos recientes**

Están considerados dentro de los depósitos clásticos recientes los depósitos aluviales y los depósitos fluviales que cubren a las formaciones más antiguas.

**Depósitos Aluviales (Qh-al).**- Los depósitos aluviales son los más extensos de los depósitos clásticos recientes, conformados por los abanicos aluviales están compuestos por arcillas, arenas, conglomerados y gravas en una matriz areno-arcillosa sin estratificación y con una distribución caótica de sus elementos.

**Depósitos Coluviales (Qh-cl).**- Los depósitos coluviales están ubicados en la quebradas Pastor, y en la zona de Huacapuy, son de color gris y presentan clastos que van desde bloques a arenas de grano fino y sueltos, son el producto de la erosión y meteorización de las rocas circundantes.

#### **4.2.5. Sección Geológica- San Gregorio**

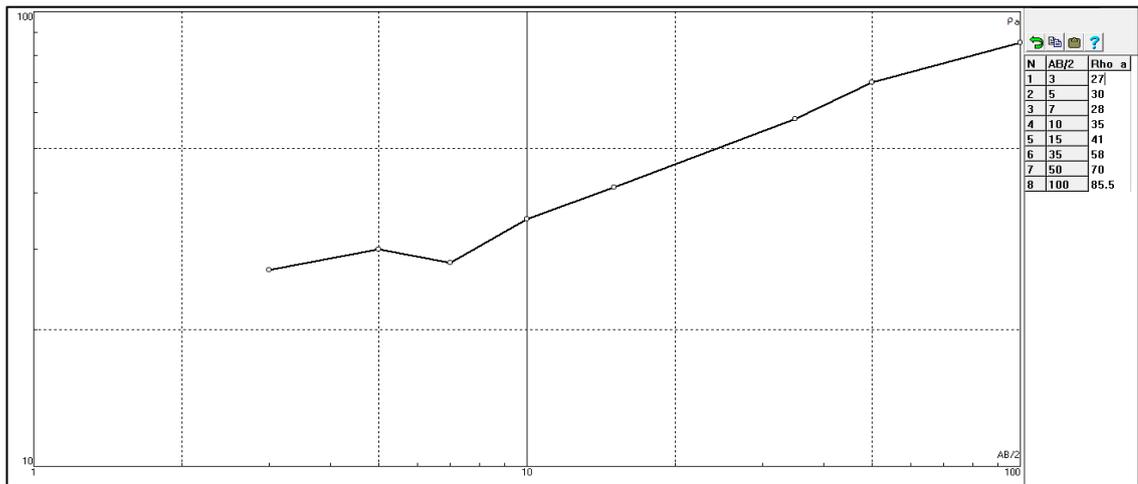
En la zona de estudio se han identificado cuatro unidades lito-estratigráficas que van desde el Paleozoico hasta edad reciente. El acuífero se ha delimitado básicamente en la unidad lito-estratigráfica que pertenece a los depósitos aluviales compuestos por arcillas, arenas, conglomerados y gravas en una matriz arenociliosa sin estratificación definida pertenecientes al cuaternario, a lo largo del valle formando un cono deyectivo aluvial , en esta unidad estratigráfica se encuentran el área de cultivo del valle. La Formación Camaná yace en discordancia litológica con la Diorita en el sector los Pacaycitos y yace en discordancia litológica con el Granito rojo en el sector de Cerro Cruces y Cerro El Barro. En el Sector de San Gregorio los depósitos aluviales yacen en discordancia litológica sobre el granito rojo y la diorita (Ver Lámina 03)

Del mapa geológico local se realizó una sección geológica, A-A' con una orientación Este- Oeste con unas coordenadas extrema Este 739225 m., Norte 8169323 m. y Este 748444 m., Norte 8164582 m., esta sección pasa por el sector de San Gregorio y atraviesa la parte norte de valle de Camaná, la realización de la sección geológica fue basada en la geología local y en la información de la interpretación geofísica del sector, se identifica que el acuífero pertenece a la unidad estratigráfica de depósitos aluviales , teniendo como base del acuífero a los intrusivos del sector los cuales poseen una conductividad hidráulica muy baja, se puede aproximar el espesor del acuífero en 40 metros y el nivel freático a 9 metros en promedio debajo de la superficie, como se ve en la Lámina 04.

### 4.3. Interpretación Geológica-Geofísica

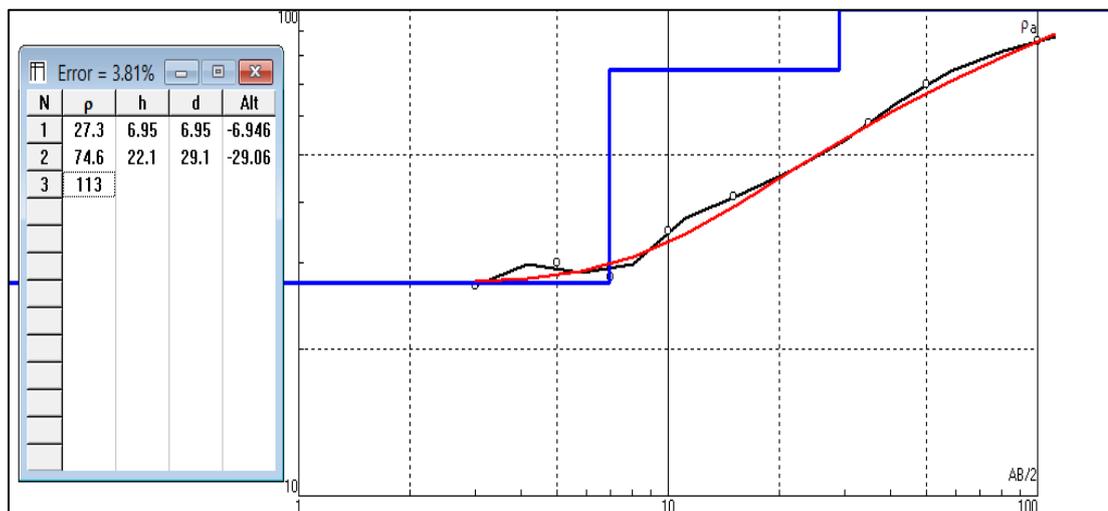
A continuación se muestran los resultados obtenidos del procesamiento de datos con el software IPIWin:

Figura 4.1: Curva de Campo del Sondeo 01



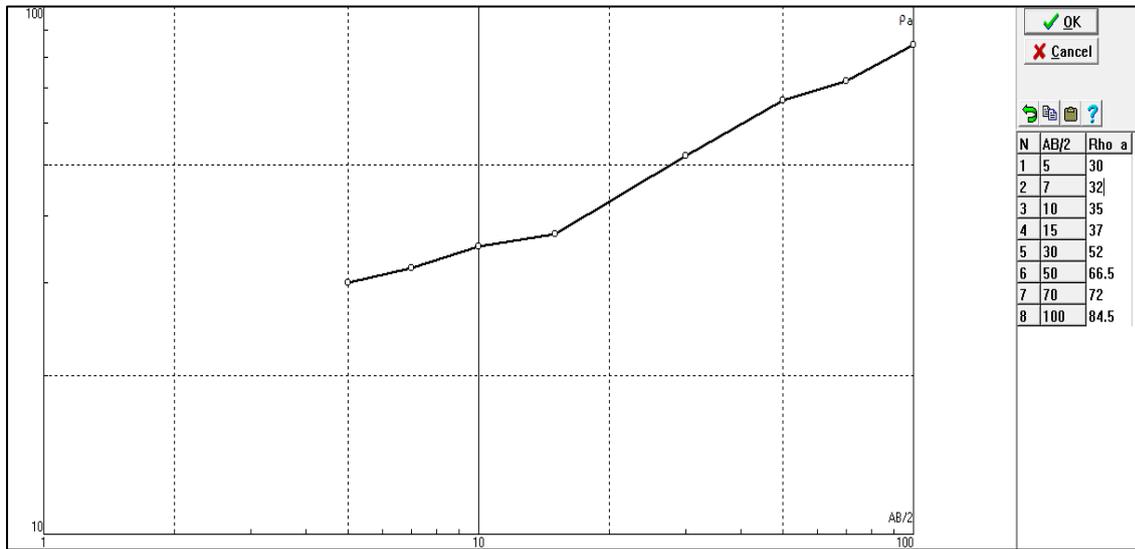
(Elaboración propia)

Figura 4.2: Aproximación de capas del Sondeo 01



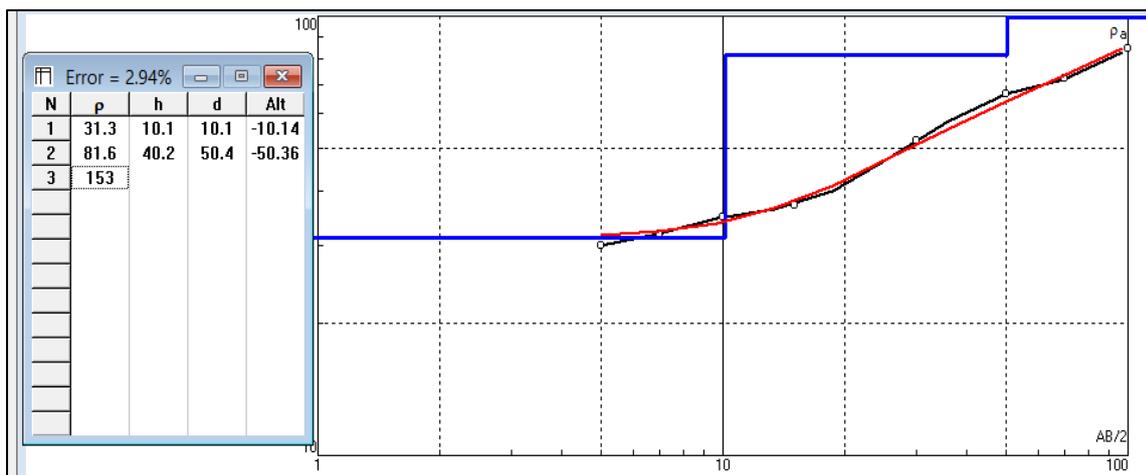
(Elaboración propia)

Figura 4.3: Curva de Campo del Sondeo 02



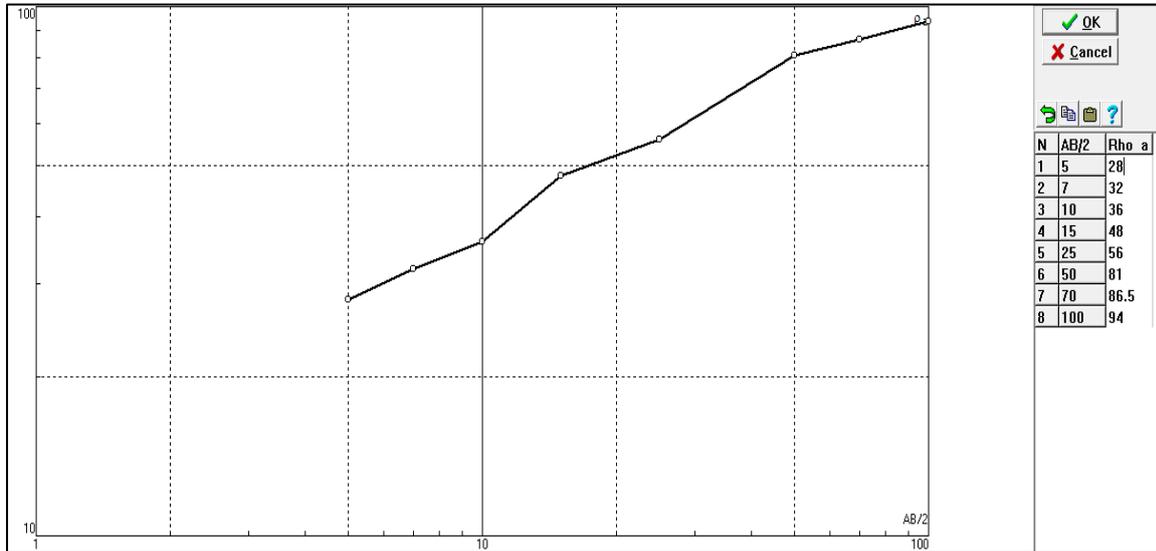
(Elaboración propia)

Figura 4.4: Aproximación de capas del Sondeo 02



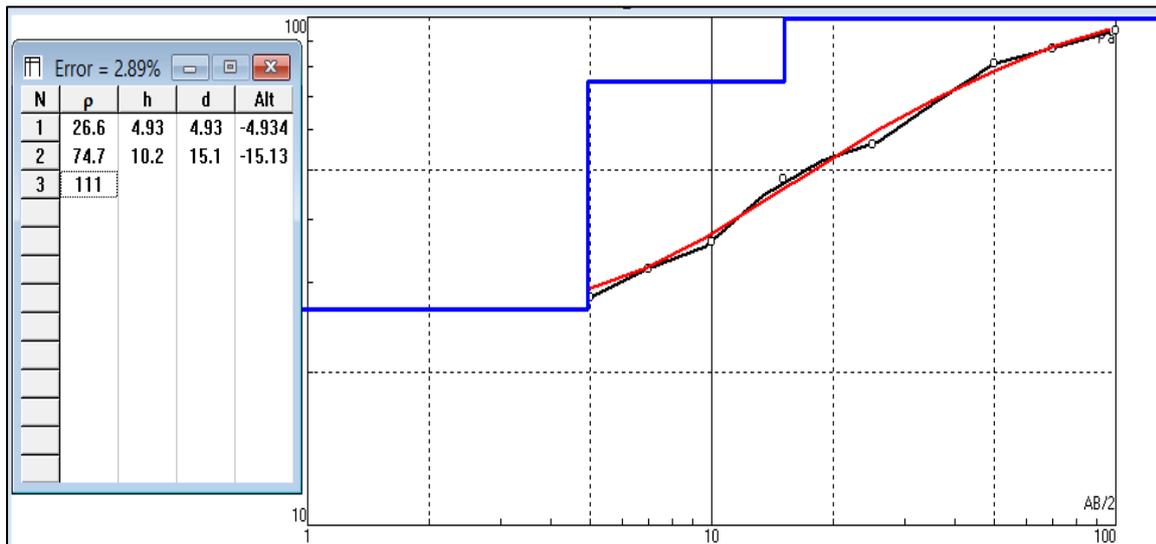
(Elaboración propia)

Figura 4.5: Curva de Campo del Sondeo 04



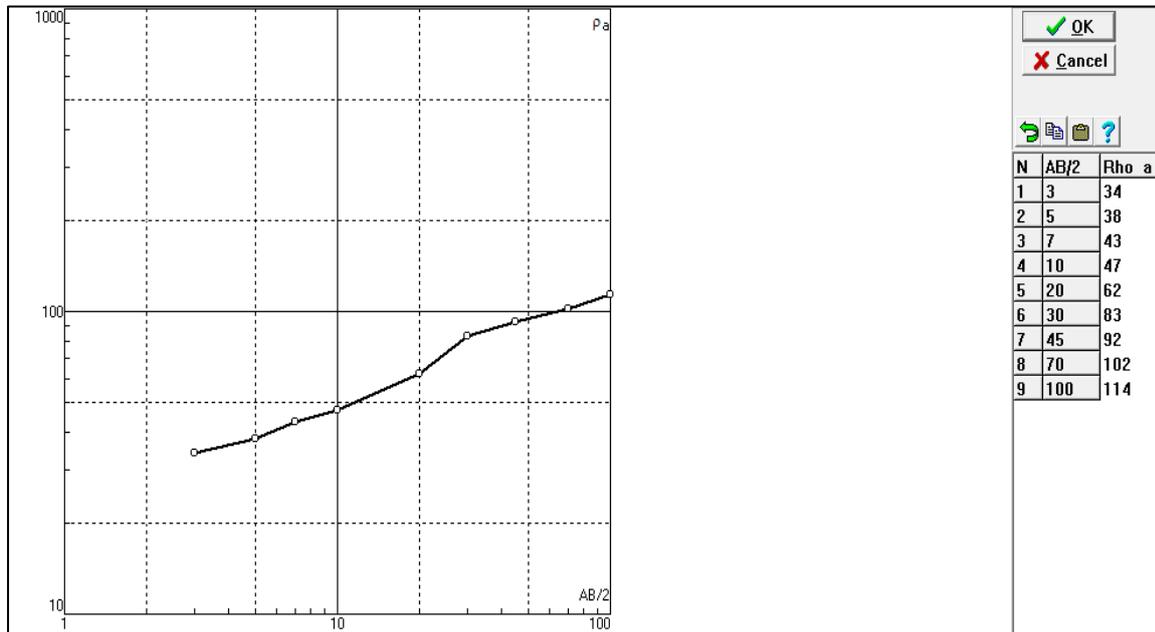
(Elaboración propia)

Figura 4.6: Aproximación de capas del sondeo 04



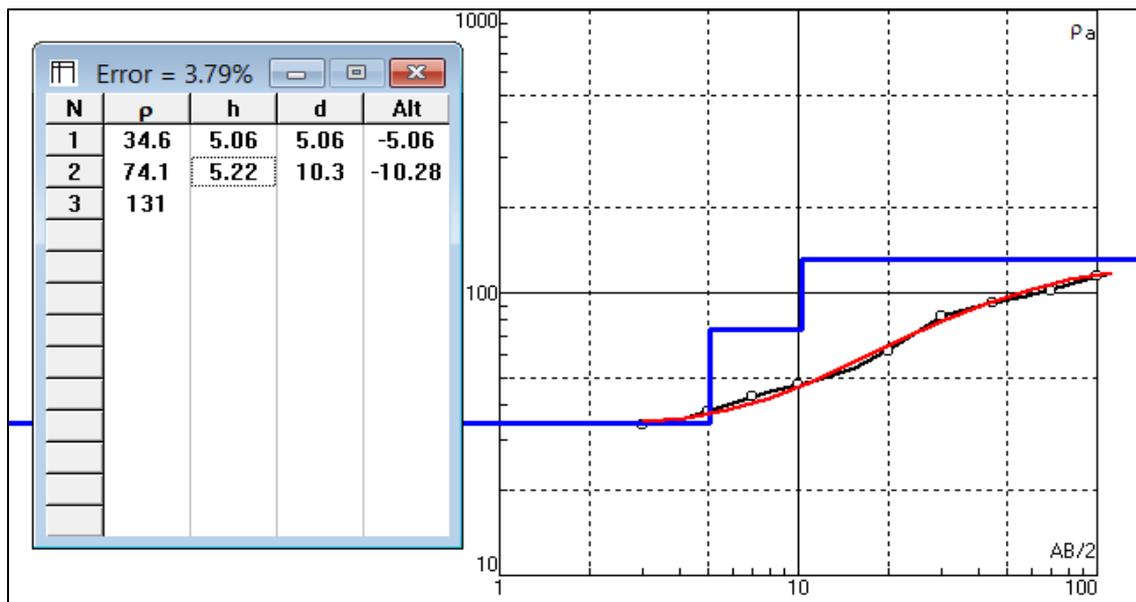
(Elaboración propia)

Figura 4.7: Curva de campo del Sondeo 05



(Elaboración propia)

Figura 4.8: Aproximación de Capas del Sondeo 05



(Elaboración propia)

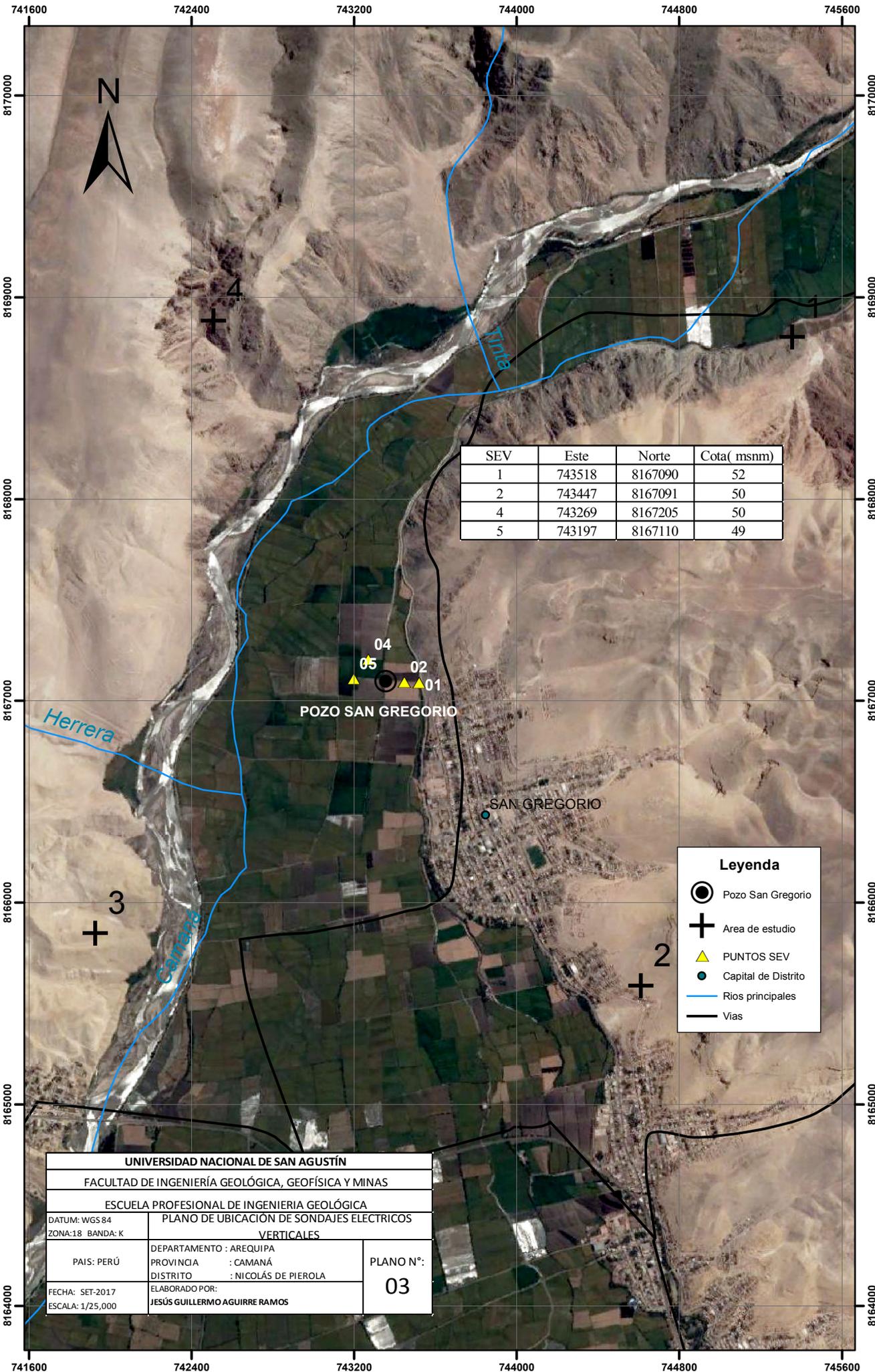
De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos se ha logrado identificar tres horizontes geo eléctricos en el Sector de San Gregorio los cuales presentan las siguientes características.

*Tabla 4.1: Resultados de la interpretación de los Sondajes Eléctricos Verticales*

SEV	DENOM.	PARAM.	HORIZONTE		
			H 1	H 2	H 3
01		$\rho(\Omega\text{-m})$	26.68	74.10	107.86
		E (m)	7	22	X
02		$\rho(\Omega\text{-m})$	31.16	81.11	152.98
		E (m)	10	40	X
04		$\rho(\Omega\text{-m})$	26.99	72.09	110.33
		E (m)	5	10	X
05		$\rho(\Omega\text{-m})$	34.62	74.83	130.11
		E (m)	5	5	X

(Elaboración Propia)

Un primer horizonte compuesto por materiales finos aparentemente en estado húmedo, con valores de resistividad entre 22.6 y 34.62 ohm-m y un espesor promedio de 7.00 m. Un segundo horizonte compuesto por materiales finos, aparentemente en estado saturado con resistividades de 63.9 a 81.11 ohm-m y un espesor con un promedio aproximado de 10.00 m, con una excepción en el SEV-02 que tiene un espesor de 40.00m y el sondaje SEV-01 con un espesor de 20.00 m.



SEV	Este	Norte	Cota( msnm)
1	743518	8167090	52
2	743447	8167091	50
4	743269	8167205	50
5	743197	8167110	49

**Leyenda**

- Pozo San Gregorio
- Area de estudio
- PUNTOS SEV
- Capital de Distrito
- Rios principales
- Vias

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN</b>		
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA		
DATUM: WGS 84		PLANO DE UBICACIÓN DE SONDAJES ELECTRICOS VERTICALES
ZONA: 18 BANDA: K		
PAIS: PERÚ	DEPARTAMENTO : AREQUIPA	PLANO N°: <b>03</b>
	PROVINCIA : CAMANÁ	
	DISTRITO : NICOLÁS DE PIEROLA	
FECHA: SET-2017	ELABORADO POR: JESÚS GUILLERMO AGUIRRE RAMOS	
ESCALA: 1/25,000		

Un tercer horizonte compuesto por materiales gruesos (grava, cantos rodados) aparentemente en estado saturado con resistividades de 107.86 a 152.98 ohm-m, este horizonte se detecta hasta el final de la exploración de 80.00 m.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos indicar que la zona de estudio es bastante homogénea, notando la presencia de un horizonte acuífero presumible a partir de los 7.00 m. de profundidad en la zona de estudio y con valores de resistividad que corresponden a materiales de buena permeabilidad al ser este un acuífero aluvial y libre, esta información se verificó en campo en la elaboración de la geología local. Los resultados se muestran en una sección geoelectrica elaborada (Ver Lámina 04) a partir de la información de la geología local, y los resultados del procesamiento de información y análisis de los sondeos eléctricos verticales del sector de San Gregorio con los puntos en los sondeos 01, 02, 04 y 05

#### **4.4. Inventariado de Pozos de Agua**

El inventario de las fuentes de agua subterránea implicó el estudio de todos los pozos en un radio no menor de un kilómetro (desde la zona de estudio), obteniendo datos de sus características constructivas, equipamiento y régimen de aprovechamiento, lo cual se plasmó en una ficha técnica de campo. El inventario logró identificar la presencia de un solo pozo tubular de propiedad de la Municipalidad Distrital de Nicolás de Piérola y es utilizado para dotar de agua potable al poblado de San Gregorio y anexos.

La zona de estudio corresponde a un sector de la campiña del poblado de San Gregorio, dedicada al 100% a la actividad agrícola, la cual es abastecida por sistema de riego a gravedad.

*Tabla 4.2: Características Técnicas del pozo de San Gregorio*

N°	NOMBRE DEL POZO	COTA	PERFORACIÓN					NIVELES DE AGUA Y CAUDAL					
		TERRENO	Año	Tipo	Prof. Inic.	Prof. Act.	Diámetro	P.R. SUELO	N. ESTÁTICO		CAUDAL EXPLOTA	N. DINÁMICO	
		m.s.n.m.	20,,		(m)	(m)	(pulg)	(m)	PROF (m)	m.s.n.m	(l/s)	PROF (m)	m.s.n.m.
1	SAN GREGORIO	50	--	T	25.00	21.40	12	0.30	9.74	40.26	14.2	11.15	39.90

N°	NOMBRE DEL POZO	EXPLOTACIÓN					
		ESTADO DEL POZO	USO	RÉGIMEN			VOLUMEN
				h/d	d/s	m/a	(m <sup>3</sup> /año)
1	SAN GREGORIO	Utilizado	D	21	7	12	441,504.00

(Elaboración Propia)

#### 4.5. Parámetros físico-químicos e inorgánicos de agua subterránea

Simultáneamente al inventariado del pozo de agua subterránea, se coordinó con la Autoridad Nacional del Agua, Administración Local de Agua Camaná-Majes las notificaciones al propietario del pozo en este caso la Municipalidad distrital de Nicolás de Piérola, la autorización para realizar la toma de datos con el multiparámetro GPS Aqua Meters Aquaread, la información que se obtuvo se muestra a continuación:

*Tabla 4.3: Parámetros físico químicos de campo obtenidos con el multiparámetro*

N°	ESTE	NORTE	PROPIETARIO	PH	Turbidez UNT	TDS (mg/L)	CE(μmho/cm)	Temperatura °C
1	743354	8167096	NICOLAS DE PIEROLA	7.12	4.2	960	1435	14.6

(Elaboración Propia)

La Tabla 4.3 muestra los parámetros físico-químicos de campo que han sido obtenidos con el multiparámetro, donde se aprecia que los valores de Conductividad Eléctrica y el Total de Tolidos Disueltos tienen valores muy cercanos a los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para consumo humano, siendo los Límites Máximos Permisibles en el Total de Sólidos Disueltos un valor de 1000 mg/L y en la Conductividad Eléctrica un valor de 1500 μmho/cm, esto se debe a que el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, estos dos parámetros están ligados con la dureza del agua la cual está determinada por la concentración de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).

Para complementar la información de la calidad de agua con fines de uso poblacional se han elaborado tres diagramas de interpretación de análisis hidroquímicos de la fuente de agua subterránea en el sector de San Gregorio, con información de ensayos de calidad de agua de la empresa Laboratorios Analíticos del Sur, dichos ensayos han sido realizados a pedido de la Municipalidad de Nicolás de Piérola, con el propósito de obtener una licencia de uso de agua en el pozo que viene abasteciendo de agua al sector de San Gregorio. Adicionalmente se ha comparado el resultado de estos análisis con el de una fuente de origen subterránea en el sector de Huantay con fines de uso poblacional, el cual ya cuenta con licencia de agua otorgada por la autoridad competente y sus parámetros inorgánicos cumplen con el Reglamento de la calidad del Agua para Consumo Humano.

Tabla 4.4: Formato de trabajo con los principales aniones y cationes para la realización de los diagramas Piper, Stiff y Schoeller.

Estación	Este	Norte	HCO <sub>3</sub> mg/L	CO <sub>3</sub> mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	Cl mg/L	Na mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	K mg/L
SG-01	745100	8162030	243	325	179.5	50	89.9	101	18.14	9.54
HU-01	697046	8203830	125	165.1	65.81	31.28	30.6	56.35	6.179	4.55
HU-02	698394	8193861	132	121.5	80.47	38.18	39.34	40.49	5.893	5.06

(Elaboración Propia)

Una de las gráficas más utilizadas, es el diagrama de Piper “En él se incluyen aniones y cationes en forma simultánea. Este gráfico permite representar muchos análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas” (Custodio, 1965, p.45).

Está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y Na<sup>+</sup>+ K<sup>+</sup>. Los vértices del triángulo de aniones son SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes. Las concentraciones de los iones dadas en meq/l se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes respectivamente. De acuerdo a la Figura 4.9 en el diagrama de Piper muestra que el agua subterránea del pozo de San Gregorio es de composición bicarbonatada cálcica.

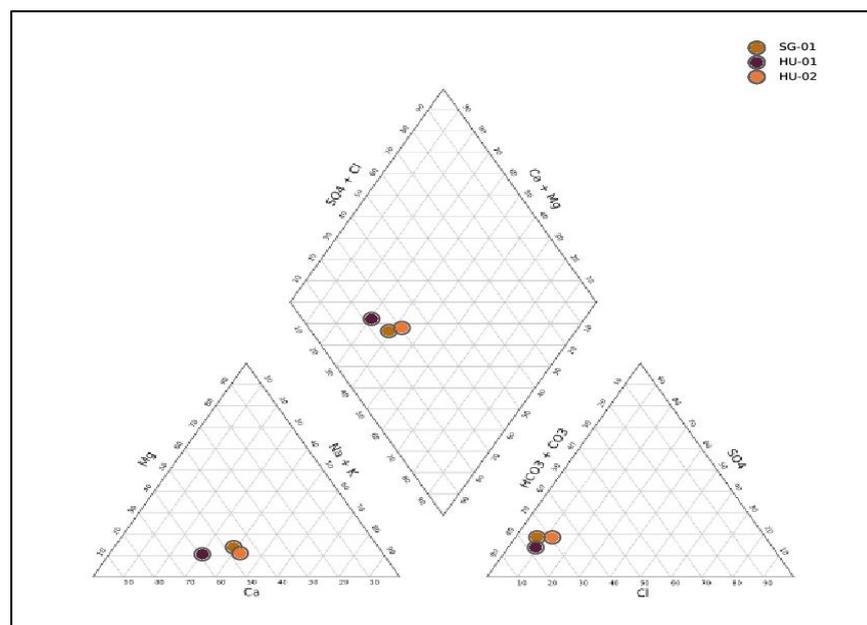
En cada triángulo se reúnen solo tres aniones y tres cationes. A cada vértice le corresponde el 100% de un anión o catión. En la gráfica realizada se ha utilizado el código SG-01 para los parámetros del ensayo de calidad de agua realizado en el pozo de

agua subterránea de San Gregorio y los códigos HU-01 y HU-02 para los parámetros de los ensayos de calidad de agua en el sector de Huantay. (Ver Fig. 4.9).

El diagrama de Stiff está compuesto por tres ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Siempre el  $\text{Na}^+$  se confronta con el  $\text{Cl}^-$ , el  $\text{Ca}^{+2}$  con el  $\text{HCO}_3^-$  y el  $\text{Mg}^{+2}$  con el  $\text{SO}_4^{-2}$ .

En el diagrama de Schoeller se disponen varias semirrectas o columnas verticales paralelas, igualmente espaciadas y divididas en escala logarítmica y con el mismo módulo. A cada semirrecta se le asocia un anión o un catión, excepto la primera columna que no tiene asociada ningún ión y su unidad de medida es en meq/l, las demás tienen como unidad de medida mg/l. Se utilizó la misma codificación que en el diagrama de Piper para las fuentes de agua.

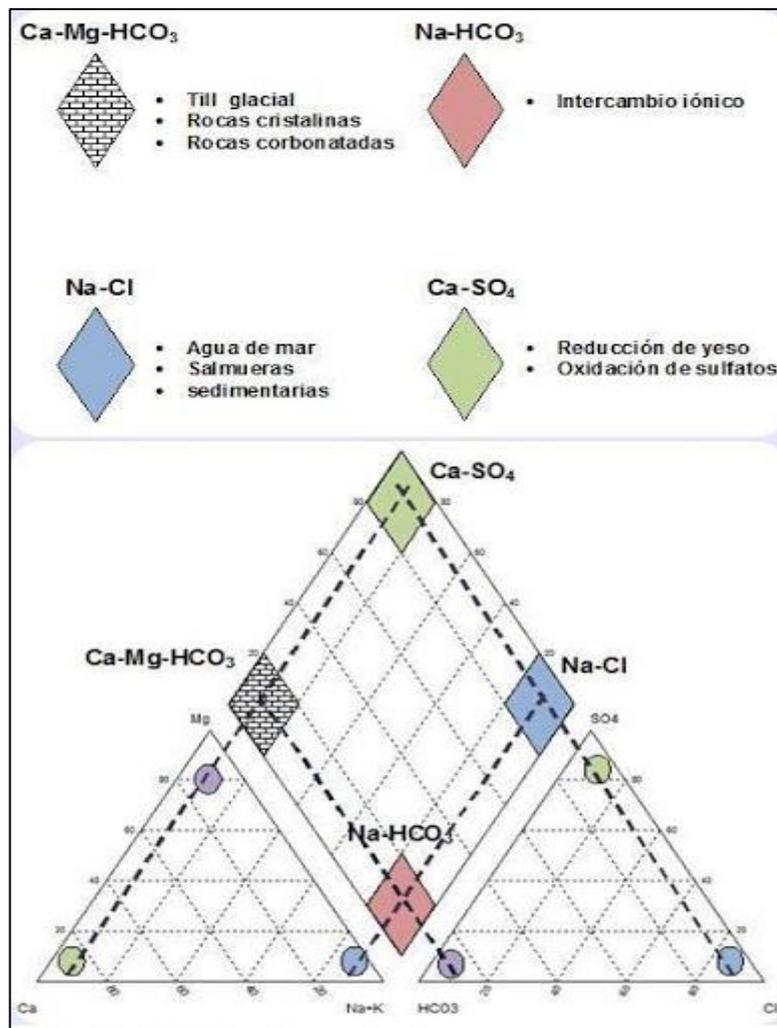
Figura 4.9: Diagrama de Piper, correspondiente al área de San Gregorio



(Elaboración propia)

El agua subterránea del pozo de San Gregorio es de composición bicarbonatada cálcica, tal como muestra la proyección en el rombo central en la Figura 4.9, en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes.

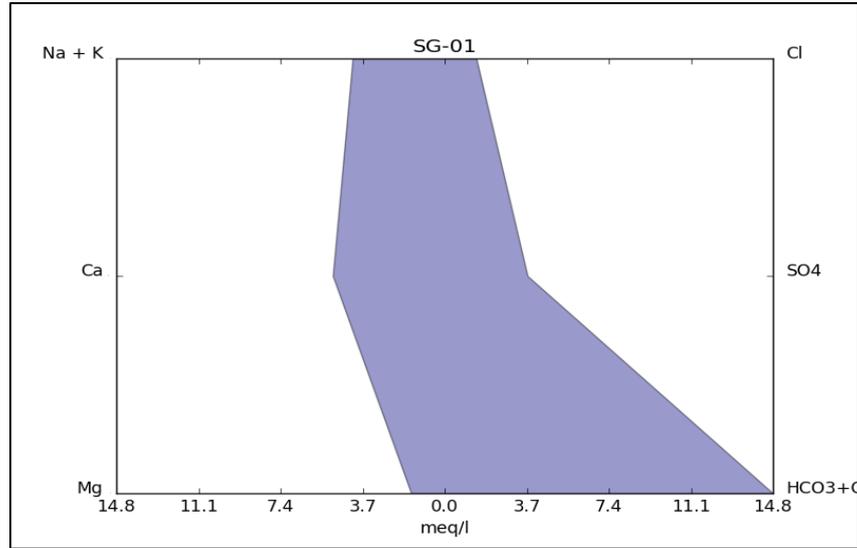
Figura 4.10: Casos Típicos de Agua de acuerdo al Diagrama de Piper.



(Diagramas usados para la interpretación del análisis hidroquímico, Agua y SIG, 2011)

Se puede correlacionar la Figura 4.10 con el diagrama de Piper correspondiente al área de San Gregorio relacionando el agua subterránea del pozo a rocas carbonatadas.

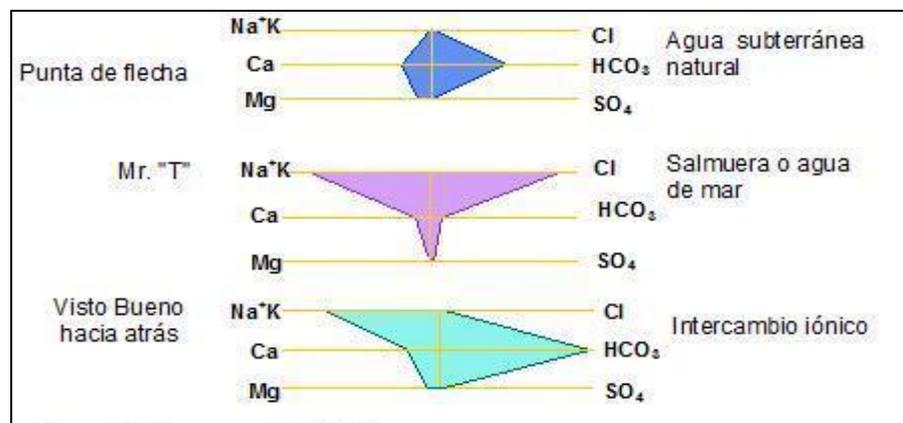
Figura 4.11: Diagrama de Stiff, correspondiente al área de San Gregorio



(Elaboración propia)

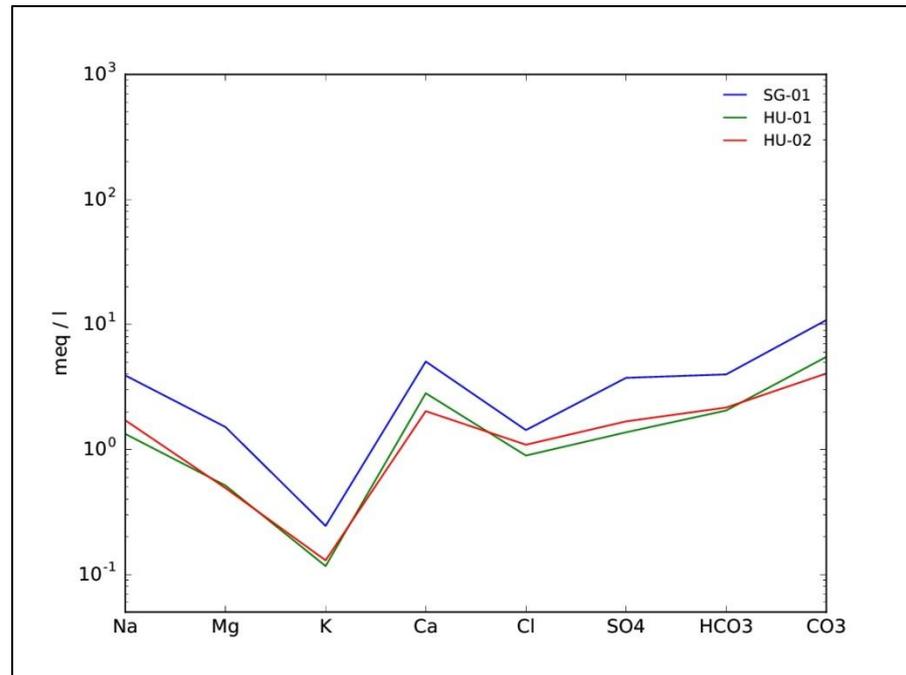
En la Figura 4.11 muestra el diagrama de Stiff elaborado con información de los iones y cationes del agua del pozo de San Gregorio, se evidencia una composición bicarbonatada cálcica, y correlacionado este diagrama con la Figura 4.12 se le puede clasificar como agua subterránea natural considerando que el ión bicarbonato en esta figura se encuentra en la parte central del lado derecho.

Figura 4.12: Diagramas de Stiff típicos



(Diagramas usados para la interpretación del análisis hidroquímico, Agua y SIG, 2011)

Figura 4.13: Diagrama de Schoeller, correspondiente al área de San Gregorio



(Elaboración propia)

La gráfica de Schoeller correspondiente al área de San Gregorio muestra que la composición del agua subterránea es bicarbonatada cálcica.

La comparación de los parámetros obtenidos mediante el análisis de calidad de agua envía al laboratorio Analítico del Sur, con los límites máximos permisibles según el D.S. N° 031-2010-SA, el cual nos indica los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua para consumo humano, los cuales son parámetros físico-químicos de campo conformados por la turbiedad, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, y los parámetros inorgánicos tales como sulfatos cloruros, manganeso, cobre, zinc conformados por metales como el arsénico, bario, boro cadmio, cianuro, mercurio, plomo.

Se puede ver en la comparación que los parámetros obtenidos en la muestra enviada en el laboratorio no sobrepasan los límites máximos permisibles en ninguno de los parámetros para la caracterización del agua para consumo humano. (Ver Anexo F).

#### ***4.2.3. Características de los parámetros hidráulicos***

El método utilizado fue el de Cooper y Jacob (1946) el cual puede aplicarse a los datos de abatimientos obtenidos en el pozo de bombeo, si el tiempo de bombeo es suficientemente grande. Sin embargo, los parámetros hidráulicos como la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento que se calculan deben tomarse sólo como aproximaciones, ya que las condiciones hidráulicas locales dentro y cerca del pozo influyen fuertemente en el valor de los abatimientos.

“En acuíferos libres también se puede aplicar este método pero con una precisión menor, ya que las líneas equipotenciales son modificadas significativamente por el bombeo” (ENOHSa, Ente Nacional de Obras hidráulicas de saneamiento 2008, p.47).

Luego de que se realizó todo el procedimiento y se han obtenido los parámetros, se volverá a interpretar los datos con el software AQT SOLV por el método de Cooper-Jacob (1946). El análisis con este método en el software, involucra graficar una línea recta en función del abatimiento y el logaritmo del tiempo, desde el inicio de la prueba de bombeo, para el análisis de este método el programa asume lo siguiente:

-El acuífero tiene una extensión de área infinita

-El acuífero es homogéneo, isotrópico y de espesor uniforme

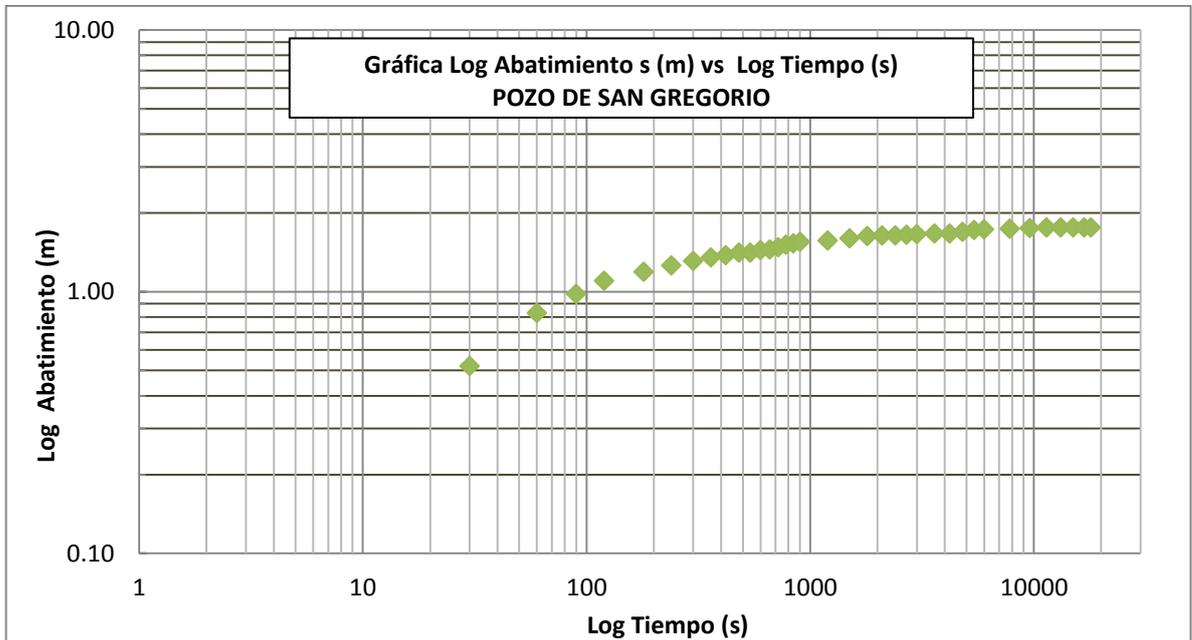
-La superficie piezométrica era horizontal antes de haber empezado el bombeo.

-El bombeo en el pozo es a caudal constante.

-El pozo de bombeo es totalmente penetrante.

A continuación se muestra la primera gráfica obtenida

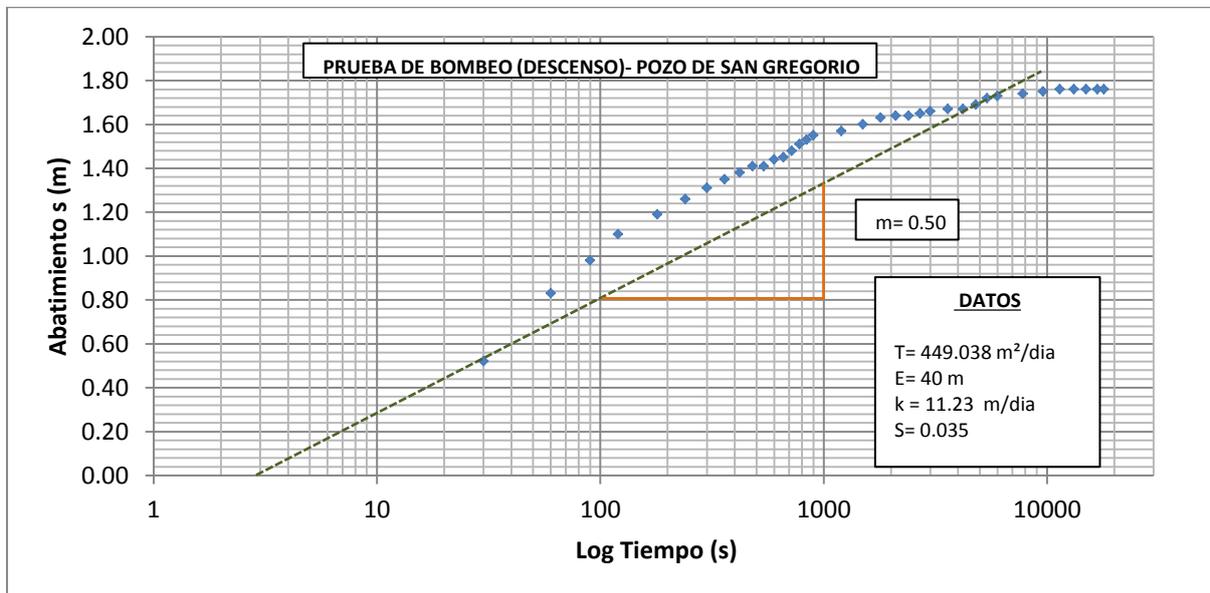
*Figura 4.14: Gráfica abatimiento (m) vs tiempo (s)*



(Elaboración Propia)

La primera gráfica muestra el comportamiento del tiempo, expresado en escala logarítmica en el eje de las abscisas contra el abatimiento en escala logarítmica, esta gráfica nos permite conocer por medio de la comparación de las curvas tipo, el tipo de acuífero en el que se está trabajando, curvas teóricas de tiempo-depresión en diferentes tipos de acuíferos, la gráfica muestra el comportamiento de un acuífero libre (Ver Figura 2.8)

Figura 4.15: Gráfica abatimiento (m) vs log tiempo (s) etapa de descenso



(Elaboración Propia)

La segunda gráfica realizada, ha sido elaborada con los datos de la etapa de descenso tomando en el eje de las ordenadas al abatimiento en escala lineal y en el eje de las abscisas al tiempo en escala logarítmica, en la cual se aprecia la evolución del nivel dinámico en la etapa de bombeo, en esta se obtiene la transmisividad,  $T = 449.038 \text{ m}^2/\text{día}$ , la conductividad hidráulica horizontal  $k = 11.23 \text{ m/día}$  y el coeficiente de almacenamiento  $S = 0.035$ .

Para el cálculo de la transmisividad se aplicó la siguiente formula

$$T = \frac{0.183x Q(m^3/día)}{\Delta s (m)}$$

$$T = \frac{0.183x 1226.88(m^3/día)}{(0.50) (m)}$$

$$T = 449.038 m^2/día$$

Para el cálculo del coeficiente de almacenamiento, se aplicó la siguiente formula, debido a que no había la existencia de un piezómetro en el pozo de San Gregorio, para el valor de r se consideró el valor de 1 ya que las medidas de los valores de los niveles dinámicos se realizaron en el mismo pozo.

$$S = \frac{2.25 x T x t_o}{r^2}$$

$$S = \frac{2.25 x 449.038 m^2/día x 3 seg x \frac{1}{3600} x \frac{1}{24} (días)}{1^2}$$

$$S = 0.035$$

Para calcular el valor de la conductividad hidráulica se consideró la siguiente formula, el espesor del acuífero se con calculó información de la sección geo eléctrica realizada, el resultado concuerda con la información de la Tabla 2.3

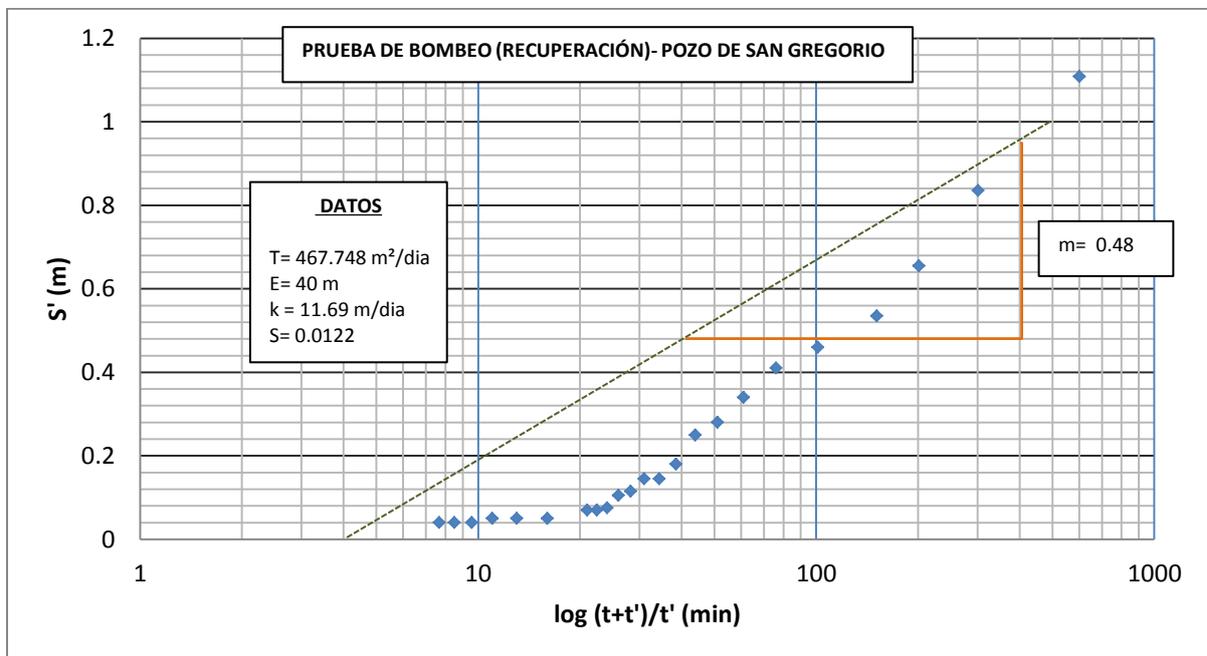
Rango de valores de la conductividad hidráulica y porosidad de distintos materiales geológicos, por tanto también se puede inferir que el valor aproximado de la porosidad eficaz del acuífero se encuentra en el rango de los valores de 0,05 y 0,035

$$K = T/E$$

$$K = \frac{449.038 \text{ m}^2/\text{día}}{40 \text{ m}}$$

$$K = 11.23 \text{ m}/\text{día}$$

Figura 4.16: Gráfica abatimiento (m) vs log tiempo  $(t+t')/t'$  etapa de recuperación



(Elaboración Propia)

La tercera gráfica realizada corresponde a la etapa de recuperación y esta ha sido elaborada tomando como valores para el eje de las ordenadas el descenso residual  $s'$  y en el eje de las abscisas el logaritmo del tiempo, en esta gráfica se puede corroborar los valores de la transmisividad  $T = 431.767 \text{ m}^2/\text{día}$ , la conductividad hidráulica horizontal  $k = 10.794 \text{ m/día}$  y el coeficiente de almacenamiento  $S = 0.0896$ , obtenidas en la segunda gráfica, los parámetros hidráulicos se han obtenido siguiendo el mismo procedimiento que en la fase de descenso.

$$T = \frac{0.183 \times 1226.88 (\text{m}^3/\text{día})}{(0.48) (m)} = 467.748 \text{ m}^2/\text{día}$$

Para la obtención del coeficiente de almacenamiento se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2.25 \times T \times t_o}{r^2}$$

$$S = \frac{2.25 \times 467.748 \text{ m}^2/\text{día} \times 4 \times \frac{1}{3600} \times \frac{1}{24} (\text{días})}{1^2} = 0.0122$$

La conductividad hidráulica se obtiene a partir del valor obtenido de la transmisividad y del espesor del acuífero

$$K = \frac{467.748 \text{ m}^2/\text{día}}{30 \text{ m}} = 11.69 \text{ m/día}$$

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **5.1. Introducción**

Los resultados obtenidos, permiten la caracterización hidrogeológica del acuífero de Camaná, Sector de San Gregorio, donde se explica el comportamiento de la hidrodinámica del acuífero en este sector del valle de Camaná

#### **5.2. Geología Local – San Gregorio**

La geología Local muestra que la zona más baja del valle, donde está instalado la mayoría de terreno de cultivos es correspondiente a los depósitos aluviales del cuaternario, compuestos en su mayoría por horizontes de gravas, arenas y limos, esta misma unidad lito-estratigráfica corresponde al acuífero.

Con el resultado de la geofísica realizada en la zona de estudio, se comprueba que en el sector de San Gregorio el espesor del acuífero está en el rango medio de 40 metros, y el nivel freático se encuentra a 9 metros en promedio debajo de la superficie en el Sector de San Gregorio, lo cual es congruente con lo descrito en el boletín de la geología de los cuadrángulos de Camaná y la Yesera.

La Formación Camaná que aparece a ambos lados laterales de los depósitos clásticos recientes en el valle, se ha diferenciado en dos niveles, el primer nivel A ubicada en los sectores de San Gregorio y Los Pacaysitos compuesta por conglomerados de cantos y gránulos, areniscas de grano grueso que poseen fragmentos líticos algunas conchillas calcáreas rotas cementadas.

El segundo nivel B compuesto por conglomerados y areniscas de grano medio también hay presencia de barras de areniscas líticas de grano medio, en la zona de estudio predominan los bloques de areniscas con intercalaciones de limolitas (ver Tabla 2.3), esta formación estaría comportándose como un acuitardo debido a su baja conductividad hidráulica.

En la parte norte de la zona de estudio existen afloramientos de Diorita Gnéisica, denominada diorita San Gregorio, la relación de contacto de esta diorita con el granito rojo no siempre es clara, presentándose a veces confusa y gradacional, estas unidades litológicas infrayacen en discordancia litológica en el sector de San Gregorio, ya que no hay evidencia de zonas de falla o fracturas de importancia tanto el Granito como la Diorita estarían actuando como un acuífugo formado parte de la base del acuífero.

### **5.3. Prospección Geofísica**

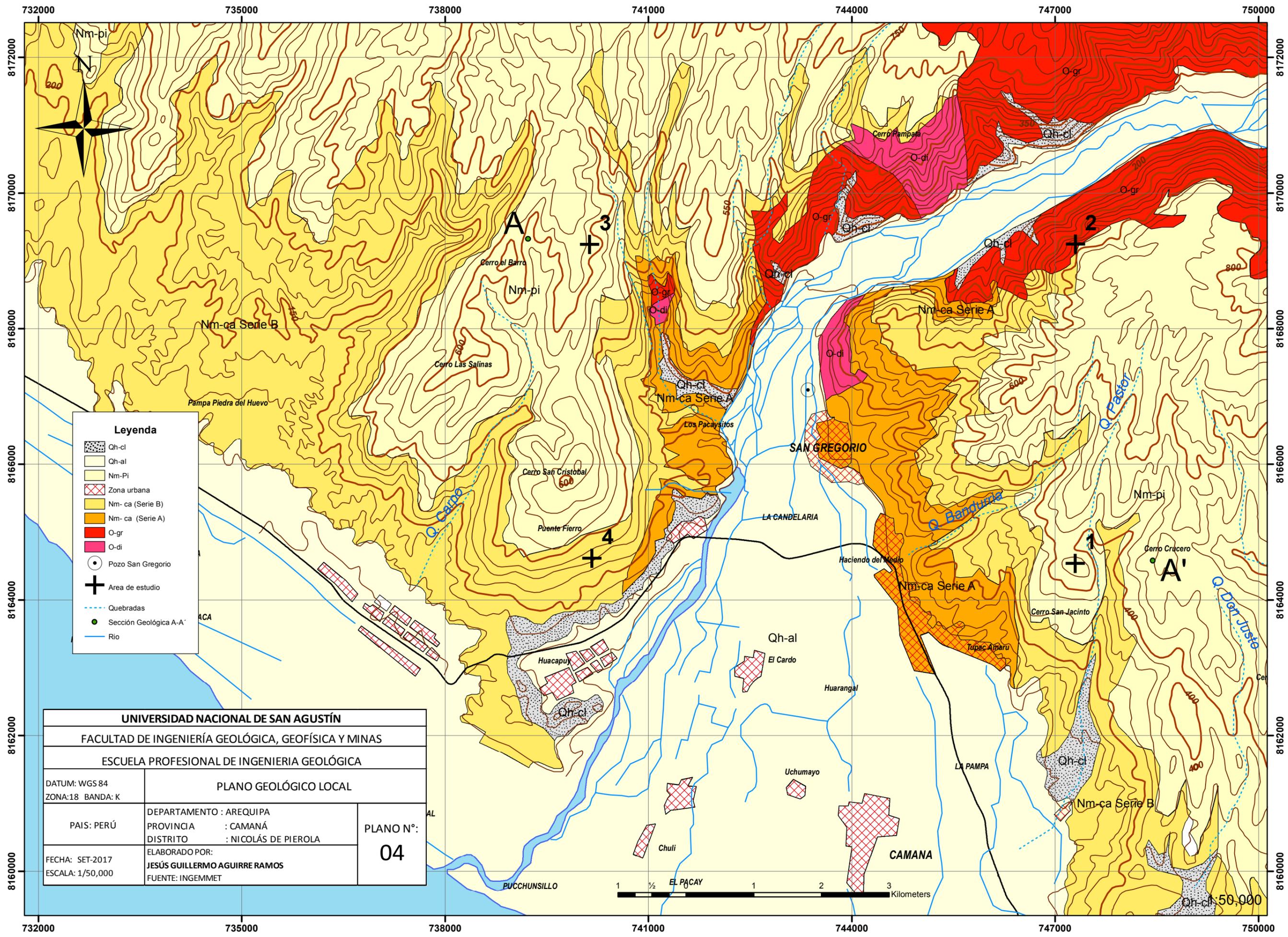
La prospección geofísica, en el presente trabajo consistió en el análisis de datos obtenidos del estudio denominado “Mejoramiento de los sistemas de agua potable en la ciudad de Camaná” del año 2014, distinguiéndose tres unidades geo-eléctricas,

resultantes de la interpretación geofísica y la geología, estas unidades corresponderían a la unidad estratigráfica de los depósitos clásticos recientes del tipo aluvial.

La primera unidad (H1) con unos valores de resistividad entre 22.62 y 34.62 ohm-m, estos valores sugieren una litología de depósitos aluviales, lo cual es consistente con la interpretación dada de grava con materiales finos, el espesor de esta unidad tiene un promedio de 7 metros, esta unidad según sus propiedades texturales permite la recarga del acuífero.

La segunda unidad (H2) presenta unos valores de resistividad de 63.92 a 81.11 ohm-m, estos valores sugieren una litología de depósitos aluviales arenas y limos, concordante con la geología de la zona, el incremento en los valores de resistividad se debe probablemente a que esta unidad se encuentra en estado saturado, lo cual se confirma con el nivel estático que se midió en el pozo de San Gregorio, a esta segunda unidad se le establece un espesor en promedio de aproximadamente 25 metros.

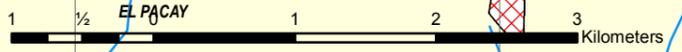
La tercera unidad (H3) presenta valores de resistividad que van en el rango de 107.86 a 152.98 ohm-m, compuesto por grava, cantos rodados en matriz areno limosa aparentemente en estado saturado, este horizonte se detecta hasta el final de la exploración de 50.00 m, se infiere que yace en discordancia litológica el granito rojo y la diorita gnéisica formando la base del acuífero, estas rocas plutónicas están actuando como un acuífugo debido a su baja conductividad hidráulica, baja porosidad y baja permeabilidad.



**Leyenda**

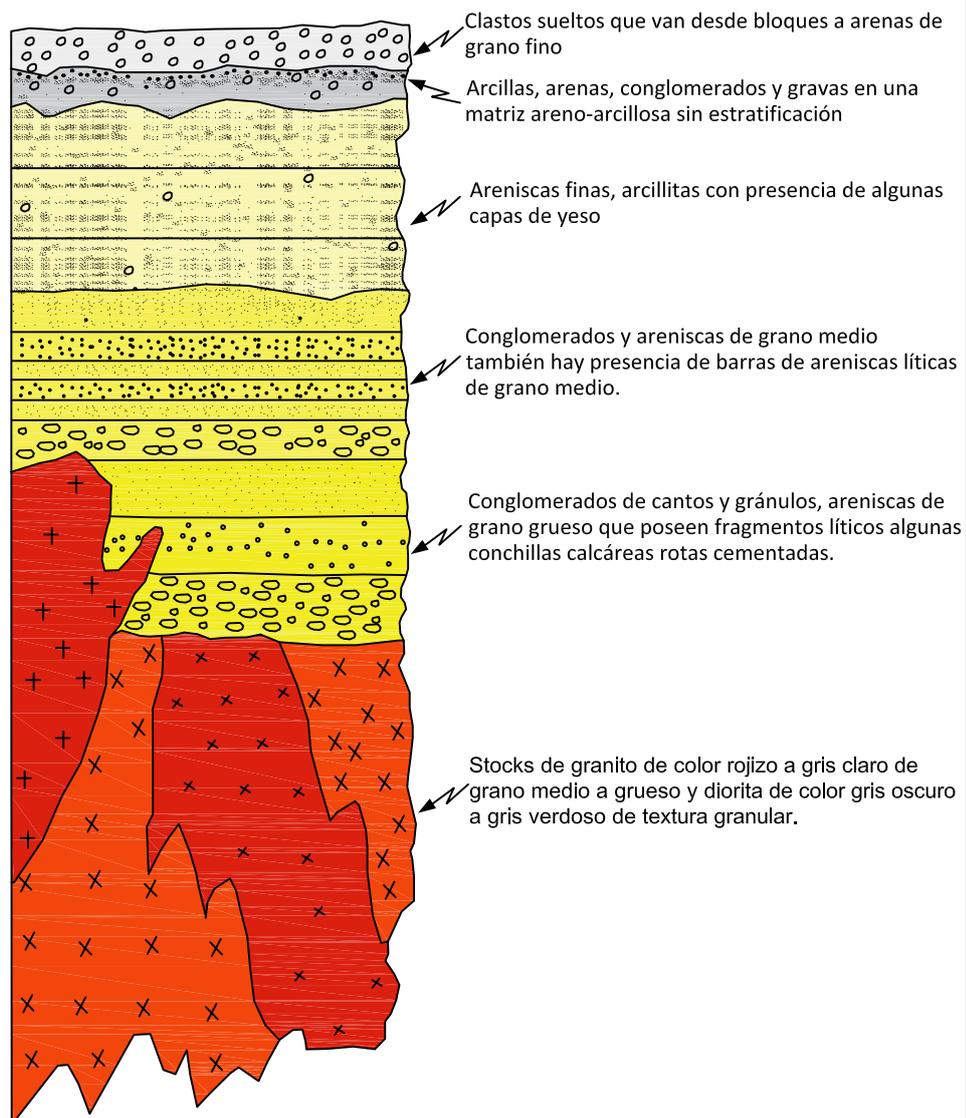
- Qh-cl
- Qh-al
- Nm-Pi
- Zona urbana
- Nm-ca (Serie B)
- Nm-ca (Serie A)
- O-gr
- O-di
- Pozo San Gregorio
- Area de estudio
- Quebradas
- Rio

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN</b>		
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA		
DATUM: WGS 84 ZONA: 18 BANDA: K		PLANO GEOLÓGICO LOCAL
PAIS: PERÚ	DEPARTAMENTO : AREQUIPA PROVINCIA : CAMANÁ DISTRITO : NICOLÁS DE PIEROLA	PLANO N°: <b>04</b>
FECHA: SET-2017 ESCALA: 1/50,000	ELABORADO POR: <b>JESÚS GUILLERMO AGUIRRE RAMOS</b> FUENTE: INGEMMET	



50,000

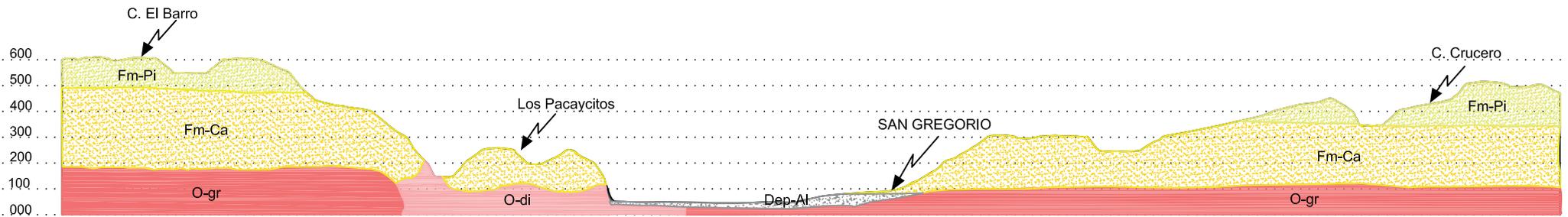
EDAD	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS
Reciente	Dep. Coluviales
Reciente	Dep. Aluviales
Mioceno Sup	Formación Pisco
Mioceno Inf.	Formación Camaná Serie B
Oligoceno Sup.	Formación Camaná Serie A
Paleozoico	Granito Rojo
	Diorita Gneisica



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA			
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
ESCALA:	1/20000	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LOCAL	
FECHA:	May-2017		
Departamento:	Arequipa	ELABORADO POR:	FUENTE:
Provincia:	Camaná	JESÚS AGUIRRE RAMOS	INGEMMET
			LÁMINA: 02

NW

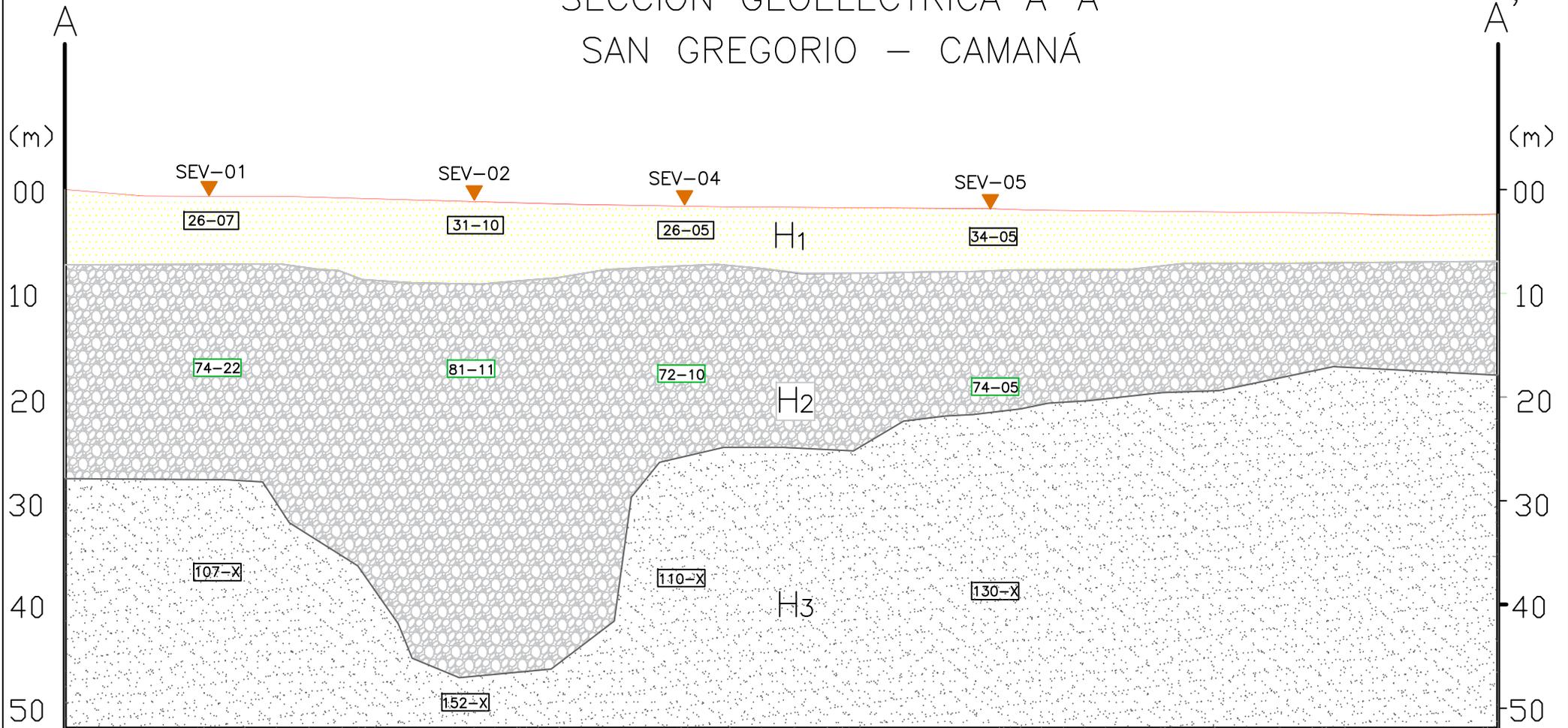
SE



LEYENDA		PROPIEDADES HIDRÁULICAS	
	Dep. Aluviales	K= 11.69 m/día	T= 467.48 m/día S= 0.012 (f. recuperación) Porosidad = 0.05 -0.35
	Formación Pisco	K= 8.64 x 10 <sup>-3</sup> m/día	Porosidad= 0.35
	Formación Camaná	K= 8.64 x 10 <sup>-3</sup> m/día	Porosidad= 0.35
	Diorita	K= 8.64 x 10 <sup>-6</sup> m/día	Porosidad= 0 - 0.1
	Granito	K= 8.64 x 10 <sup>-6</sup> m/día	Porosidad= 0 - 0.1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA			
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
ESCALA HORIZONTAL:	1/45000	SECCIÓN GEOLÓGICA A-A'	
ESCALA VERTICAL:	1/22500	ELABORADO POR: JESÚS GUILLERMO AGUIRRE RAMOS	LAMINA:
FECHA:	May-2017		03

# SECCIÓN GEOELECTRICA A-A' SAN GREGORIO – CAMANÁ



SONDAJE ELECTRICO VERTICAL Y SU NUMERO

SEV-01



H<sub>1</sub> MATERIALES FINOS (ESTADO HÚMEDO)

VALOR DE RESISTIVIDAD Ohm-m.

128-2



H<sub>2</sub> MATERIALES FINOS (ESTADO SATURADO)

SUPERFICIE



H<sub>3</sub> MATERIALES GRUESOS (ESTADO SATURADO)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ZONA:

18 K

SECCIÓN GEOELÉCTRICA A-A'

ESCALA:

1/550

ELABORADO POR:

JESÚS GUILLERMO AGUIRRE RAMOS

LÁMINA:

04

FECHA:

May-2017

#### **5.4. Inventario de Pozos de agua**

En la ciudad de Camaná se conoce de la existencia de más de 50 pozos de agua subterránea, muchos de estos son ilegales por los que no hay acceso a la información de estos mismos, sin embargo para el presente trabajo solo se considera el pozo del Sector de San Gregorio en el distrito de Nicolás de Piérola, debido a que en dicho sector solo existe la presencia de un solo pozo tubular de agua subterránea, el caudal de este pozo es de 14,2 litros sobre segundo en promedio y en la actualidad es utilizado con fines de uso poblacional.

#### **5.5. Parámetros físico-químicos e inorgánicos de calidad de Agua**

Los parámetros físico-químicos de campo de calidad de agua, del pozo de San Gregorio pueden ser comparados con las normas que regulan la calidad de agua según DIGESA, mediante D.S. N° 031-2010-SA, de acuerdo a la norma, todos parámetros obtenidos con el multiparámetro GPS Aqua Meters AQUAREAD tomados en campo in situ, presentan valores dentro de los límites permisibles, sin embargo los valores de la Conductividad Eléctrica y Total de Sólidos Disueltos, muestran valores elevados lo que se puede relacionar a un contenido elevado de carbonatos en el agua.

Los parámetros inorgánicos de calidad del agua, han sido interpretados con los diagramas de Piper, Stiff y Schoeller, para el análisis hidroquímico clasificando el agua como bicarbonatada cálcica, lo cual es concordante con los valores elevados de la Conductividad Eléctrica y Total de Sólidos Disueltos.

Tabla 5.1: Parámetros obtenidos de la muestra enviada a Laboratorios Analíticos del Sur

PARÁMETROS	UNIDAD	Limite Permisible	Pozo San Gregorio
			<b>Parámetros obtenidos</b>
pH	Unid. Ph	6.5-8.5	7.12
Turbidez	NTU	5.00	4.2
Sólidos Totales	mg/L	1000	960
Dureza Total	Mg/L	500	325.00
Hierro	mg/L	0.30	<0.016
Cobre	mg/L	2.00	<0.002
Cadmio	mg/L	0.005	<0.00011
Manganeso	mg/L	0.10	<0.0003
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	50.00	5.28
Sulfatos	mg/L	250.00	179.50
Cloruros	mg/L	250.00	50.00
Sodio	mg/L	200.00	89.90
Boro	mg/L	1.50	0.12
Magnesio	mg/L	30.00	18.14
Plomo	mg/L	0.010	<0.0026
Zinc	mg/L	3.00	<0.0031

(Elaboración Propia)

## 5.6. Características de los Parámetros hidráulicos

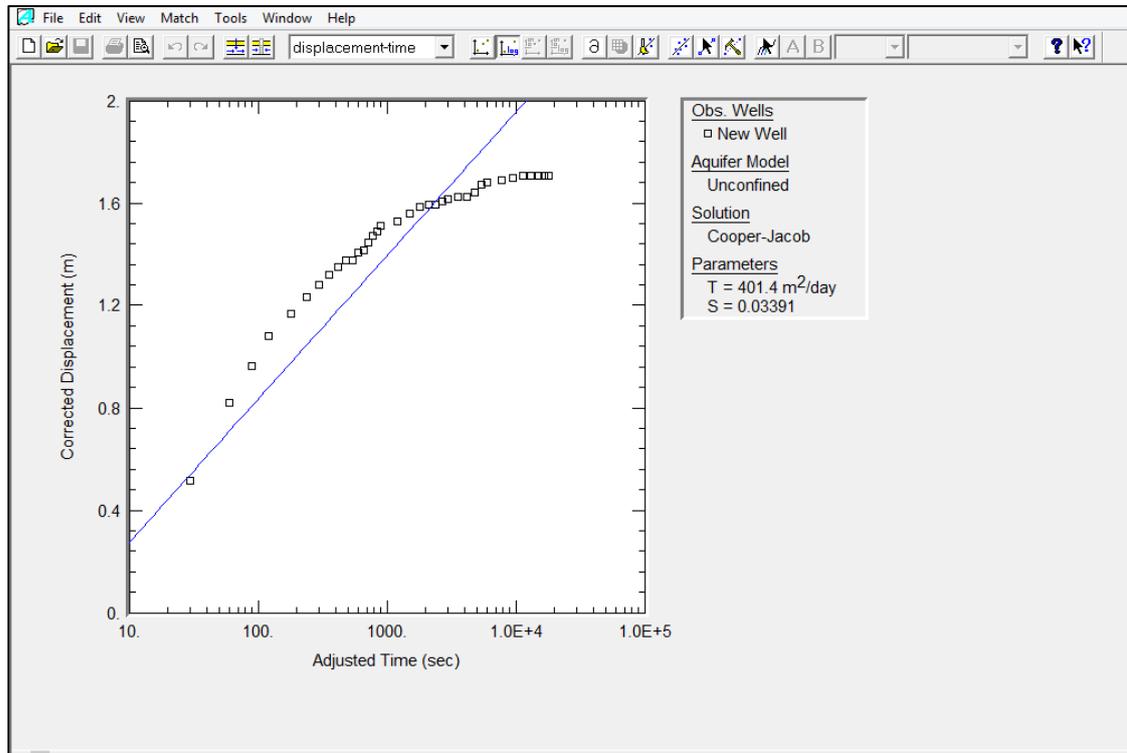
Para estimar los parámetros hidráulicos se realizó una prueba de bombeo, analizado con el método de Cooper-Jacob. Las gráficas realizadas para la obtención de estos parámetros y sus criterios de interpretación para el pozo de San Gregorio, son discutidas de acuerdo con la información obtenida. El nivel estático en el pozo antes de iniciar la prueba de bombeo es de 9.74 metros durante la etapa de bombeo alcanzó una

profundidad de 11.505 metros, la prueba tuvo una duración de 345 minutos, una vez que concluyó la etapa de bombeo se logró una recuperación de 98 %, la recuperación del nivel dinámico duró 45 minutos. Con las gráficas obtenidas en la etapa de bombeo, compararon las curvas teóricas para confirmar el tipo del acuífero, encontrándose un comportamiento al de un acuífero libre. Luego de confirmar el tipo de acuífero se procedió a la interpretación de las gráficas en el periodo de bombeo.

Los parámetros hidráulicos obtenidos en la fase de recuperación son los siguientes la transmisividad  $T = 467.748 \text{ m}^2/\text{día}$ , la conductividad hidráulica horizontal  $k = 11.69 \text{ m/día}$  y el coeficiente de almacenamiento  $S = 0.0122$ , ya que el acuífero es de material aluvial, la porosidad eficaz se encuentra en el rango de que va del 15 al 30 % (Ver Tabla 2.4), y conociendo el tipo de material que constituye el acuífero (aluvial) todos los parámetros hidráulicos son concordantes de acuerdo a las tablas mostradas en el marco teórico.

También se compararon los resultados de los parámetros hidráulicos usando el software libre AQTESOLV, el valor calculado de la transmisividad por el programa por el método de Cooper Jacob fue de  $401.4 \text{ m}^2/\text{día}$ , y un valor de coeficiente de almacenamiento  $S$  de  $0.0339$ , y un valor de conductividad hidráulica  $K$  de  $10.035 \text{ m/día}$  asumiendo que el espesor del acuífero oscila en un promedio de 40 metros, se muestran valores similares a los obtenidos de manera manual con la interpretación de las gráficas, con los datos obtenidos en campo en la prueba de bombeo del pozo de San Gregorio.

Figura 5.1: Solución de la etapa de bombeo en descenso con el software AQTESOLV



## CONCLUSIONES

A continuación se muestran las conclusiones relacionadas con la Caracterización Hidrogeológica del Acuífero de Camaná en el sector de San Gregorio.

1. Se han obtenido los parámetros hidráulicos, parámetros físico químicos de campo, parámetros inorgánicos de la calidad del agua, geología local e interpretación geofísica para la caracterización hidrogeológica del acuífero de Camaná, en el sector de San Gregorio.
2. Se elaboró una sección geológica con información de la geología local y la interpretación geofísica en el sector de San Gregorio, que indica que el acuífero está emplazado en la unidad estratigráfica que corresponde a los depósitos clásticos recientes del tipo aluvial, el nivel freático se encuentra aproximadamente a 9 metros debajo de la superficie, el espesor del acuífero es de aproximadamente 40 metros y la base del acuífero está conformada por las rocas plutónicas que corresponden al granito y diorita gnéssica que actúan como un acuífugo.
3. Se han obtenido los parámetros hidráulicos del acuífero en la etapa de descenso (transmisividad  $T= 449.038 \text{ m}^2/\text{día}$ , conductividad hidráulica horizontal  $k =11.23 \text{ m/día}$  y el coeficiente de almacenamiento  $S= 0.035$ ) y la etapa de recuperación (transmisividad  $T= 467.748 \text{ m}^2/\text{día}$ , conductividad hidráulica horizontal  $k =11.69 \text{ m/día}$  y el coeficiente de almacenamiento  $S= 0.0122$ ) mediante el análisis de una prueba de bombeo con el método de Jacob-Cooper, dichos valores clasifican al acuífero con una transmisividad media y una conductividad hidráulica alta , el coeficiente de almacenamiento obtenido es consistente con la literatura citada para materiales de depósitos aluviales

4. Se han obtenido los parámetros físico-químicos de campo de calidad del agua, los cuales son pH 7.12, Turbidez 4.2 UNT, Total de Sólidos Disueltos 960 ppm, Conductividad Eléctrica 1435 ( $\mu\text{mho/cm}$ ) y Temperatura de 14.6 C°, los valores de la Conductividad Eléctrica y Total de Sólidos Disueltos son elevados debido al alto contenido de bicarbonatos, todos estos parámetros físico-químicos de campo cumplen con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano el D.S. N° 031-2010-SA. Los parámetros inorgánicos de calidad del agua, han sido interpretados con los diagramas de Piper, Stiff y Schoeller para el análisis hidroquímico clasificando el agua del acuífero como bicarbonatada cálcica.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se indican a continuación, surgen de las observaciones realizadas tanto en campo como en gabinete en la realización del presente trabajo:

1. Es necesario que la Autoridad Nacional del Agua actualice el inventario de pozos de agua subterránea en la ciudad de Camaná y de igual manera se realice periódicamente un monitoreo en las fuentes de agua subterránea, debido a que el inventario actual se encuentra desactualizado y se tiene conocimiento de la existencia de varios pozos que funcionan de manera ilegal.
2. Realizar más estudios de prospección geofísica con la finalidad de determinar el espesor y el nivel freático del acuífero, no solo en el sector de San Gregorio, es necesario tratar de abarcar la mayor proporción en porcentaje del área del acuífero para poder realizar una caracterización hidrogeológica del acuífero de Camaná.
3. Es necesario que organismos fiscalizadores estatales, verifiquen el cumplimiento de la instalación de piezómetros en los pozos de agua subterránea y que estos reporten de manera periódica las variaciones en los niveles dinámicos y estáticos a lo largo del año en temporada de avenidas y estiaje, para tener una data anual confiable y analizar el comportamiento de recarga del acuífero con las fuentes de agua superficial.
4. Realizar un balance del agua subterránea, en el acuífero de Camaná debido que hasta la fecha no hay registro de información de esta índole, a pesar de que la mayor fuente de abastecimiento de agua potable es la de origen subterránea, esto para poder otorgar licencias de usos de agua subterránea, teniendo conocimiento de la cantidad aproximada de recurso hídrico subterráneo y priorizar la demanda de agua para consumo humano, ya que en la actualidad existen pozos de agua subterránea destinados para agricultura e industria.

## REFERENCIAS

1. Agua y SIG, (2011), Diagramas usados para la interpretación del análisis hidroquímico, Buenos Aires-Argentina , <https://www.aguaysig.com>
2. ANA Autoridad Nacional del Agua , (2016), Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales , Lima-Perú
3. Arias Barahona Hector Palza, Eduardo Farfán Bazán, (2001), Evaluación de Peligros de Camaná, Convenio UNAS-INDECI, Arequipa-Perú
4. Auge Miguel, (2008), Hidrogeología Ambiental , Buenos Aires-Argentina
5. Auge Miguel. (2005), Perforaciones Hidrogeológicas, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires-Argentina
6. Autoridad Nacional del Agua, (2016), Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, Lima Perú
7. Bellino O. Norberto (2012) Aguas Subterráneas Conocimiento y explotación, Buenos Aires - Argentina
8. Collazo Caraballo María Paula, Montaña Xavier Jorge, (2012), Manual de Agua Subterránea, Montevideo Uruguay
9. Comisión Nacional del Agua, (2007), Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento Pruebas de Bombeo, Ciudad de México
10. Custodio, E. y Llamas, R., (1996), Hidrología Subterránea, Ediciones Omega S.A. Barcelona España
11. ENOHSa Ente Nacional de Obras hidráulicas de saneamiento, (2008), Principios Básicos de Hidrogeología , Buenos Aires Argentina
12. García Guerrero Alejandra Noemí (2012), Caracterización Hidrogeológica de un Sector del acuífero de Iguala estado de Guerrero, Tesis de Grado, Ciudad de México
13. Gilboa Yaakov (1977), La estructura y las dimensiones de los acuíferos aluviales en la costa del Perú , Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Lima-Perú

14. Gilboa Yaakov, (1978), El Modelo Hidrogeológico de los acuíferos costeros del Perú, Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Lima-Perú.
15. Gilli Éric, Mangan, Christian Mudry Jacques (2012), Hydrogeology, objectives methods and applications, París- Francia
16. Hiscock M Kevin., Bense F. Victor. (2014), Hydrogeology Principles and practice, Second Edition,
17. Kosaka Masuno Roberto, Arias Barahona Hector, Farfán Bazan Eduardo, Gonzales Centeno Edgar, Minaya Lizarraga Armando, ( 2001), Evaluación de Peligros de Camaná, Arequipa-Perú
18. Ministerio de Salud , (2008), Reglamento de Calidad del Agua para consumo Humano , Lima-Perú
19. Pecho G. Victor y Morales S. Guillermo (1969), Geología de los Cuadrangulos de Camana y la Yesera, Boletín N°2
20. Sociedad Geográfica de Lima, (2011), Contribuyendo al desarrollo de una cultura del Agua y Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Lima- Peú
21. SUNASS Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, (2017), Nuevo Régimen Especial de Monitoreo y Gestión de Usos de Agua Subterráneas a Cargo de las EPS, Lima-Perú.
22. Theis, C. V., 1935, The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, Transactions of the American Geophysical Union, v. 2, p. 519–524.
23. Valdivia Peñares José, (2014), Mejoramiento de los Sistemas de Agua Potable en la Ciudad de Camaná, Arequipa-Perú.

# ANEXOS

# ANEXO A

Fichas Formatos de las Pruebas de  
Bombeo del Pozo Tubular de San  
Gregorio, Descenso Y Recuperación



## PRUEBAS DE BOMBEO- DESCENSO

Pozo de San Gregorio

Uso: Poblacional



Departamento : Arequipa	Provincia: Camaná
Distrito : Nicolás de Piérola	Ejecutores: ALA Camaná-Majes
Coordenadas: 743356 E, 8167090 N	DATUM: WGS 84 Zona: 18
Cota terreno: 50 m.s.n.m.	Propietario : M. D. de Nicolás de Pierola
Fecha : 26/10/2015	Profundidad total (m) : 25
Q extraído: 15, 2 litros/segundo	Abatimiento (m) : 1.76
Diámetro de perforación: 12 pulg.	Nivel Estático (m): 9.74
Medido por: J. Aguirre Ramos	Nivel Dinámico (m) : 11.505

N	Fecha	Hora	t (min)	ND (m)	s (m)	Observaciones
1	26/10/2015	10:20	0	9.745	0	
2	26/10/2015	10:20	0.5	10.265	0.52	se perdió
3	26/10/2015	10:21	1	10.575	0.83	
4	26/10/2015	10:21	1.5	10.725	0.98	
5	26/10/2015	10:22	2	10.845	1.1	
6	26/10/2015	10:23	3	10.935	1.19	
7	26/10/2015	10:24	4	11.005	1.26	
8	26/10/2015	10:25	5	11.055	1.31	
9	26/10/2015	10:26	6	11.095	1.35	
10	26/10/2015	10:27	7	11.125	1.38	
11	26/10/2015	10:28	8	11.155	1.41	
12	26/10/2015	10:29	9	11.155	1.41	
13	26/10/2015	10:30	10	11.185	1.44	
14	26/10/2015	10:31	11	11.195	1.45	
15	26/10/2015	10:32	12	11.225	1.48	
16	26/10/2015	10:33	13	11.255	1.51	
17	26/10/2015	10:34	14	11.275	1.53	
18	26/10/2015	10:35	15	11.295	1.55	
19	26/10/2015	10:40	20	11.315	1.57	
20	26/10/2015	10:45	25	11.345	1.6	
21	26/10/2015	10:50	30	11.375	1.63	
22	26/10/2015	10:55	35	11.385	1.64	
23	26/10/2015	11:00	40	11.385	1.64	
24	26/10/2015	11:05	45	11.395	1.65	
25	26/10/2015	11:10	50	11.405	1.66	
26	26/10/2015	11:20	60	11.415	1.67	
27	26/10/2015	11:30	70	11.415	1.67	
28	26/10/2015	11:40	80	11.435	1.69	
29	26/10/2015	11:50	90	11.465	1.72	
30	26/10/2015	12:00	100	11.475	1.73	
31	26/10/2015	12:30	130	11.485	1.74	
32	26/10/2015	13:00	160	11.495	1.75	
33	26/10/2015	13:30	190	11.505	1.76	
34	26/10/2015	14:00	220	11.505	1.76	
35	26/10/2015	14:30	250	11.505	1.76	
36	26/10/2015	15:00	280	11.505	1.76	
37	26/10/2015	15:20	300	11.505	1.76	alcanzó el nivel dinámico a los 300 min



PRUEBAS DE BOMBEO- RECUPERACIÓN  
Pozo de San Gregorio  
Uso: Poblacional

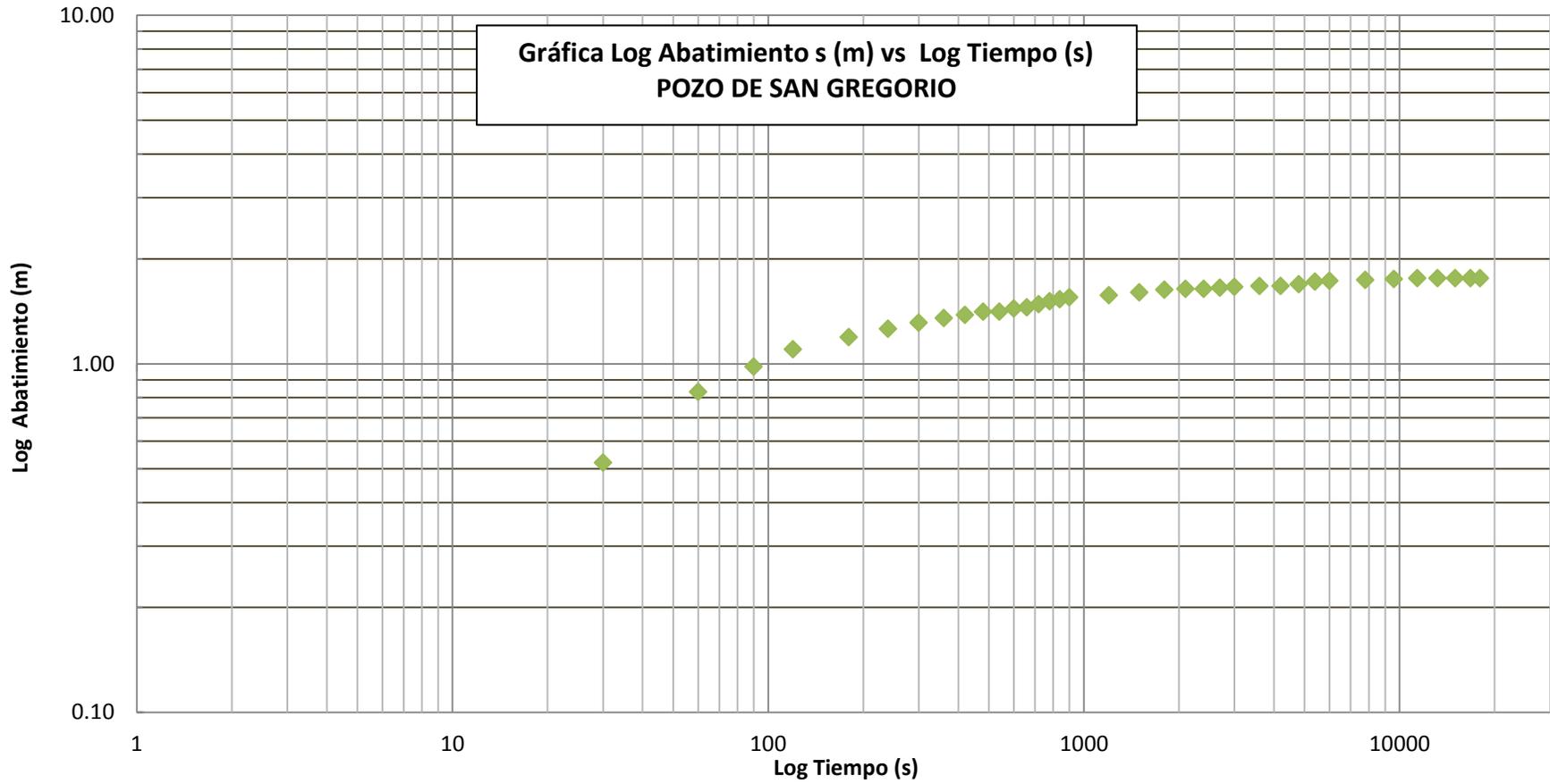


Departamento : Arequipa				Provincia: Camaná				
Distrito : Nicolás de Piérola				Ejecutores: ALA Camaná-Majes				
Coordenadas: 743356 E, 8167090 N				DATUM: WGS 84 Zona: 18				
Cota terreno: 50 m.s.n.m.				Propietario : M. D. de Nicolás de Pierola				
Fecha : 26/10/2015				Profundidad total (m) : 25				
Q extraído: 15, 2 litros/segundo				Abatimiento (m) : 1.76				
Diámetro de perforación: 12 pulg.				Nivel Estático (m): 9.74				
Medido por: J. Aguirre Ramos				Nivel Dinámico (m) : 11.505				
N	Fecha	Hora	t corrido (min)	(t+t')/t' (min)	t' (min)	ND (m)	s' (m)	Observaciones
1	26/10/15	15:20:00	300	0	0	11.505	1.76	
2	26/10/15	15:21:00	300.5	601	0.5	10.825	1.108	se perdió
3	26/10/15	10:21	301	301	1	10.58	0.835	
4	26/10/15	10:21	301.5	201	1.5	10.4	0.655	
5	26/10/15	10:22	302	151	2	10.28	0.535	
6	26/10/15	10:23	303	101	3	10.205	0.46	
7	26/10/15	10:24	304	76	4	10.155	0.41	
8	26/10/15	10:25	305	61	5	10.085	0.34	
9	26/10/15	10:26	306	51	6	10.025	0.28	
10	26/10/15	10:27	307	43.8571	7	9.995	0.25	
11	26/10/15	10:28	308	38.5	8	9.925	0.18	
12	26/10/15	10:29	309	34.3333	9	9.89	0.145	
13	26/10/15	10:30	310	31	10	9.89	0.145	
14	26/10/15	10:31	311	28.2727	11	9.86	0.115	
15	26/10/15	10:32	312	26	12	9.85	0.105	
16	26/10/15	10:33	313	24.0769	13	9.82	0.075	
17	26/10/15	10:34	314	22.4286	14	9.815	0.07	
18	26/10/15	10:35	315	21	15	9.815	0.07	
19	26/10/15	10:40	320	16	20	9.795	0.05	
20	26/10/15	10:45	325	13	25	9.795	0.05	
21	26/10/15	11:50	330	11	30	9.795	0.05	
22	26/10/15	11:55	335	9.57143	35	9.785	0.04	
23	26/10/15	12:00	340	8.5	40	9.785	0.04	
24	26/10/15	12:05	345	7.66667	45	9.785	0.04	

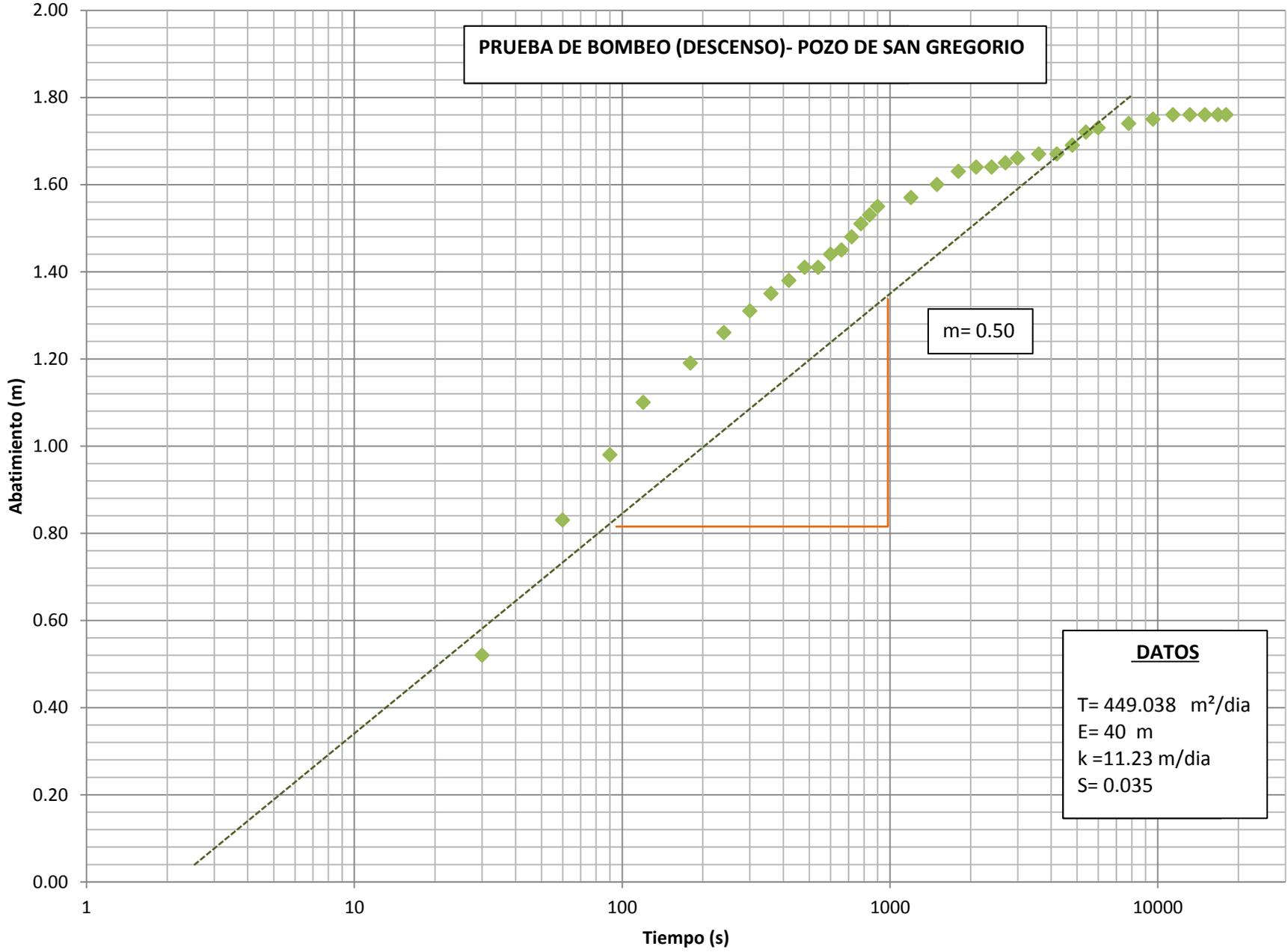
# ANEXO B

Gráficas de las Pruebas de Bombeo del  
pozo tubular de San Gregorio

**Gráfica Log Abatimiento s (m) vs Log Tiempo (s)**  
**POZO DE SAN GREGORIO**



**PRUEBA DE BOMBEO (DESCENSO)- POZO DE SAN GREGORIO**



**PRUEBA DE BOMBEO (RECUPERACIÓN)- POZO DE SAN GREGORIO**

**Valores de la Transmisividad (segun autores)**

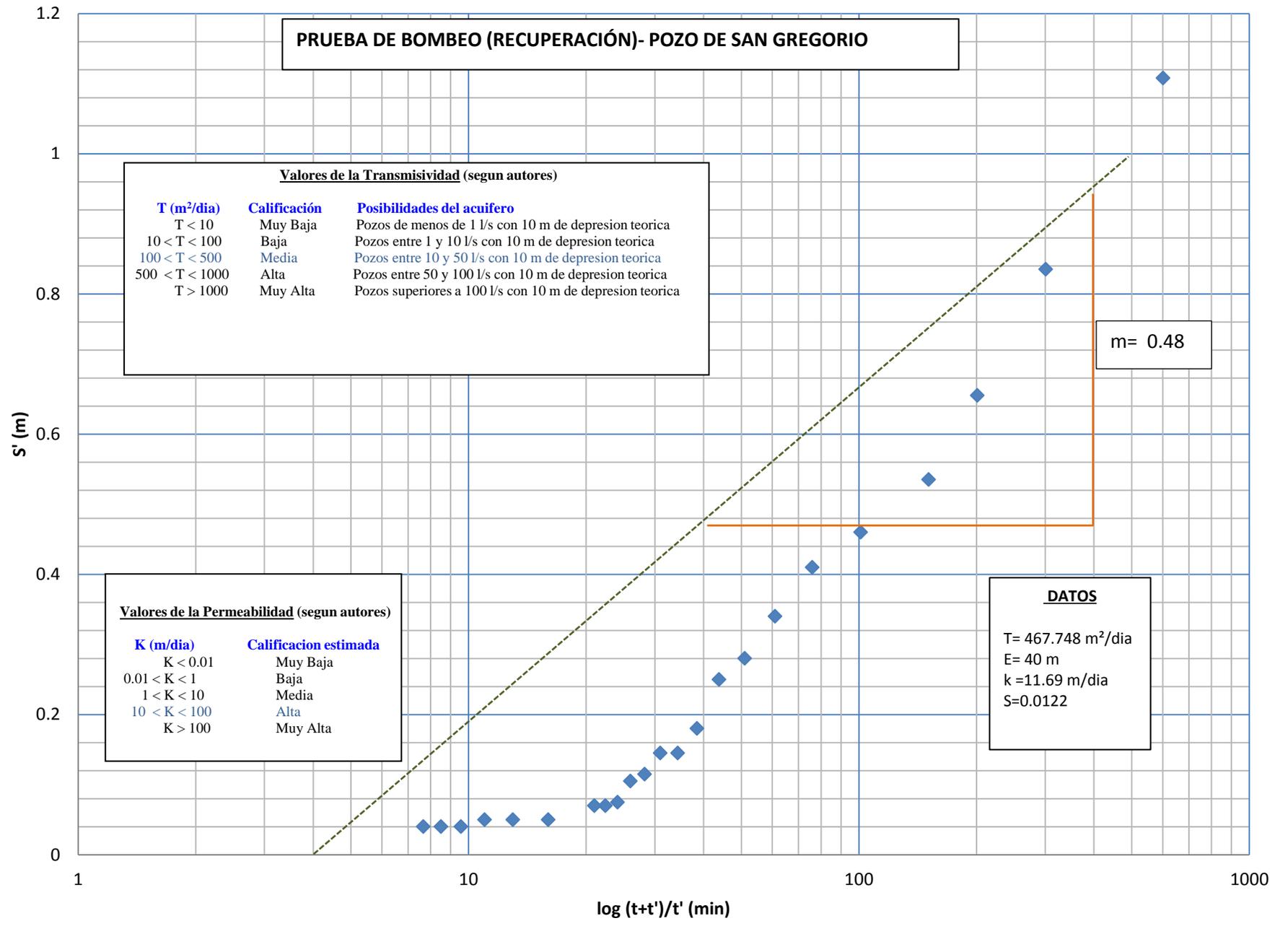
T (m <sup>2</sup> /dia)	Calificación	Posibilidades del acuífero
T < 10	Muy Baja	Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresion teorica
10 < T < 100	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresion teorica
100 < T < 500	Media	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresion teorica
500 < T < 1000	Alta	Pozos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

**Valores de la Permeabilidad (segun autores)**

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

**DATOS**  
 T= 467.748 m<sup>2</sup>/dia  
 E= 40 m  
 k =11.69 m/dia  
 S=0.0122

m= 0.48



# ANEXO C

Resultados de los parámetros de  
calidad de Agua del Pozo de San  
Gregorio



## INFORME DE ENSAYO N° 1509432 - LMT

SOLICITANTE : SERVICIOS GENERALES HIDROMAS E.I.R.L.

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA PARA CONSUMO HUMANO  
(1509432)

PROCEDENCIA : Camaná – Arequipa  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2015 - 09 - 19  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2015 - 09 - 23  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2015 - 09 - 23  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2015 - 09 - 25

### RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1509432	Agua de Consumo (DIGESA)*
<sup>1</sup> Recuento de heterótrofos (UFC/mL)	0	50 x 10
<sup>2</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100mL)	< 1.8	< 2.2
<sup>2</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100mL)	< 1.8	< 2.2
<sup>2</sup> Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	< 1.8	< 2.2

(\*)Especificaciones dadas por DIGESA para agua de consumo, en la NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01, Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. XVI.4 Agua y hielo para consumo humano.

Nota: Los valores < 1.8 y < 2.2 indican ausencia de microorganismos en ensayo.

#### Método:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9215. APHA-AWWA-WEF.

<sup>2</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio, en muestra proporcionada por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento: Este documento es válido solo para la muestra descrita.

La Molina, 30 de septiembre de 2015

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lm@lamolina.edu.pe](mailto:lm@lamolina.edu.pe)





**INFORME DE ENSAYO LAS-15- 02075**

**Hoja de datos**

Señores: SERVICIOS GENERALES HIDROMAS E.I.R.L.  
 Dirección: CAL. LOMA DE LAS MAGNOLIAS MZA. G5 LOTE. 37 URB. PROLONG. BENAVIDES -SANTIAGO DE SURCO-LIMA  
 Atención: SERVICIOS GENERALES HIDROMAS E.I.R.L.  
 Proyecto: "Rehabilitación y Ampliación del Sistema de Agua Potable de San Gregorio Distrito Nicolas de Pierola -Camana"  
 Nro de muestras: 1  
 Toma de muestra realizado por: Cliente: Marco Vasquez Durand  
 Registro de muestreo: 061-15  
 Fecha de recepción: 20/04/2015  
 Fecha de ensayo: 20/04/2015  
 Fecha de emisión: 28/04/2015  
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestra debidamente conservada  
 Observaciones : Datos proporcionados por el cliente

**Metodo de ensayo aplicado**

- 802 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- \*808 Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method.
- \*810 ASTM D 1067 - 06 Método de ensayo estándar para alcalinidad del agua
- \*811 Método de ensayo para la determinación de Turbidez en agua
- \*823 Ion cloruro en agua: SMEWW. 22 nd Ed. Item 4500-Cl- Part. C. Mercuric Nitrate Method
- 830 Dureza Total (CaCO3): SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340 B, 22nd Ed. Hardness. Hardness by Calculation (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- \*839 ASTM D 3867 - 09 Método de ensayo estándar para nitrato en agua
- \*847 Sólidos Totales en agua por gravimetría: SMEWW. 22 st Ed. Part-2540 B. Total Solids Dried at 103-105 °C
- \*848 Ensayo de Sulfatos en agua SMEWW. 22 th Ed. 4500-SO4-2 Part. E. Turbidimetric Method.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
AG15000154	Agua subterránea de pozo San Gregorio	Agua Natural Subterránea	San Gregorio/Nicolas de Pierola/Camana/Arequipa	745100E 8162030N	19/04/15	12:00 p.m.

*Sixto Vicente Juárez Neira*  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Sixto Vicente Juárez Neira  
 Gerente General  
 Ing. Químico CIP 19474

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

<sup>na</sup><Valor numérico> = Límite de detección del método, <sup>nb</sup><Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



**INFORME DE ENSAYO LAS-15- 02075**

Hoja de resultados

28/04/2015

Pág.: 2/5

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	802	802	802	802	802	802	802	802	802	802
		Ag MT mg/L	Al MT mg/L	B MT mg/L	Ba MT mg/L	Be MT mg/L	Ca MT mg/L	Cd MT mg/L	Co MT mg/L	Cr MT mg/L	Cu MT mg/L
AG15000154	Agua subterránea de pozo San Gregorio	<sup>a</sup> <0,0024	<sup>a</sup> <0,029	0,1222	0,07059	<sup>a</sup> <0,000079	101	<sup>a</sup> <0,00011	<sup>a</sup> <0,000094	<sup>a</sup> <0,00039	<sup>a</sup> <0,002

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico CIP 19474

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

<sup>a</sup><Valor numérico = Límite de detección del método, <sup>b</sup><Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



## INFORME DE ENSAYO LAS-15- 02075

Hoja de resultados

28/04/2015

Pág.: 3/5

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	802	802	802	802	802	802	802	802	802
		Fe MT mg/L	K MT mg/L	Li MT mg/L	Mg MT mg/L	Mn MT mg/L	Mo MT mg/L	Na MT mg/L	Ni MT mg/L	P MT mg/L
AG15000154	Agua subterránea de pozo San Gregorio	<sup>a</sup> <0,016	9,54	0,17085	18,14	<sup>a</sup> <0,0003	<sup>a</sup> <0,00038	89,9	<sup>a</sup> <0,00051	0,0138

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ino. Químico CIP 19474

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

<sup>a</sup><Valor numérico = Límite de detección del método, <sup>b</sup><Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



**INFORME DE ENSAYO LAS-15- 02075**

Hoja de resultados

28/04/2015

Pág.: 4/5

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	802 Pb MT mg/L	802 Sb MT mg/L	802 Se MT mg/L	802 SiO <sub>2</sub> MT mg/L	802 Sn MT mg/L	802 Sr MT mg/L	802 Ti MT mg/L	802 TI MT mg/L	802 V MT mg/L	802 Zn MT mg/L
AG15000154	Agua subterránea de pozo San Gregorio	<sup>a</sup> <0,0026	<sup>a</sup> <0,00049	<sup>a</sup> <0,002	72.95	<sup>a</sup> <0,00085	0.8986	0,00277	<sup>a</sup> <0,0013	0,00868	<sup>a</sup> <0,0031

*Sixto*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
CIP 19474

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

<sup>a</sup><Valor numérico = Límite de detección del método, <sup>b</sup><Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



**INFORME DE ENSAYO LAS-15- 02075**

**Hoja de resultados**

28/04/2015

Pág.: 5/5

Código Interno #	Nombre de Muestra	*808 pH 19,8C	*810 Alcalinidad 'CaCO3 mg. CaCO3 /L	*811 Turbidez FTU	*823 Cl- mg/L	830 Dureza Total 'CaCO3 mg/L	*839 NO3- mg/L	*847 ST mg/L	*848 SO4= mg/L
AG15000154	Agua subterránea de pozo San Gregorio	7,12	243	<sup>a</sup> <1	50	325	5,28	665	179,5

*Sixto Juárez Neira*  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico CIP 19474

(\* ) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

<sup>a</sup><Valor numérico" = Límite de detección del método, <sup>b</sup><Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

# ANEXO D

Resultados de los parámetros de  
calidad de Agua del Manantial de  
Huantay

# INFORME DE ENSAYO: 33787/2016

## MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOÑA

AV. UNION NRO. S/N (PLAZA DE ARMAS OCOÑA) AREQUIPA - CAMANA - OCOÑA

### Caracterización del Agua Para Consumo Humano

Emitido por: Doris Quicara Choquepiunta - Griselda Cusi Coaquira

Impreso el 05/10/2016



Lic. Quím. Doris Quicara Choquepiunta

CQP: 790

Supervisor de Laboratorio – Sede Arequipa



Blg. Griselda Cusi Coaquira

CQP: 9800

Analista de Laboratorio de Microbiología – Sede Arequipa

# INFORME DE ENSAYO: 33787/2016

## RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS - CORPLAB				343206/2016-1.0	343211/2016-1.0
Fecha de Muestreo				16/09/2016	16/09/2016
Hora de Muestreo				11:00:00	13:10:00
Tipo de Muestra				Agua de Bebida	Agua de Bebida
Identificación				SR-1	PP-2
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD		
<b>002 ANALISIS EN CAMPO</b>					
Cloro Residual Libre	1823	mg/L	0,02	< 0,02	< 0,02
Conductividad	1825	µS/cm	---	515,0	470,0
pH (Campo)	1840	Unidades pH	---	7,69	8,95
Turbidez - Campo	1845	UNT	0,08	0,85	11,20
<b>003 ANALISIS FISICOQUIMICOS</b>					
Cianuro Total	11585	mg/L	0,001	< 0,001	< 0,001
Color Verdadero	8801	UC	1	< 1	2
Dureza Total	1829	mg CaCO3/L	1,0	165,1	121,5
Sólidos Totales Disueltos	1842	mg/L	2	374	348
<b>005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA - ANIONES</b>					
Cloruros, Cl-	16189	mg/L	0,020	31,28	38,18
Nitratos, (como N)	16189	mg/L	0,003	0,282	< 0,003
Nitritos, (como N)	16189	mg/L	0,001	< 0,001	< 0,001
Sulfatos, SO4-2	16189	mg/L	0,015	65,81	80,47
<b>007 ANALISIS DE METALES TOTALES ICP MS</b>					
Aluminio (Al)	11420	mg/L	0,002	< 0,002	0,370
Antimonio (Sb)	11420	mg/L	0,00004	0,00065	0,00106
Arsénico (As)	11420	mg/L	0,00003	0,01808	0,03984
Bario (Ba)	11420	mg/L	0,0001	0,0266	0,0228
Berilio (Be)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002	< 0,00002
Bismuto (Bi)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002	< 0,00002
Boro (B)	11420	mg/L	0,002	0,480	0,852
Cadmio (Cd)	11420	mg/L	0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Calcio (Ca)	11420	mg/L	0,10	56,35	40,49
Cobalto (Co)	11420	mg/L	0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Cobre (Cu)	11420	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,00249
Cromo (Cr)	11420	mg/L	0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Estaño (Sn)	11420	mg/L	0,00003	< 0,00003	< 0,00003
Estroncio (Sr)	11420	mg/L	0,0002	0,3204	0,3322
Fosforo (P)	11420	mg/L	0,015	< 0,015	0,052
Hierro (Fe)	11420	mg/L	0,0004	< 0,0004	0,3173
Litio (Li)	11420	mg/L	0,0001	0,1005	0,1464
Magnesio (Mg)	11420	mg/L	0,003	6,179	5,893
Manganeso (Mn)	11420	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,05533
Mercurio (Hg)	11420	mg/L	0,00003	< 0,00003	< 0,00003
Molibdeno (Mo)	11420	mg/L	0,00002	0,00233	0,00350
Níquel (Ni)	11420	mg/L	0,0002	< 0,0002	0,0004
Plata (Ag)	11420	mg/L	0,000003	< 0,000003	< 0,000003
Plomo (Pb)	11420	mg/L	0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Potasio (K)	11420	mg/L	0,04	4,55	5,06
Selenio (Se)	11420	mg/L	0,0004	< 0,0004	< 0,0004
Silicio (Si)	11420	mg/L	0,2	16,3	14,9
Sodio (Na)	11420	mg/L	0,006	30,60	39,34
Talio (Tl)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002	< 0,00002
Titanio (Ti)	11420	mg/L	0,0002	< 0,0002	0,0120
Uranio (U)	11420	mg/L	0,000003	0,001181	0,000638

# INFORME DE ENSAYO: 33787/2016

N° ALS - CORPLAB				343206/2016-1.0	343211/2016-1.0
Fecha de Muestreo				16/09/2016	16/09/2016
Hora de Muestreo				11:00:00	13:10:00
Tipo de Muestra				Agua de Bebida	Agua de Bebida
Identificación				SR-1	PP-2
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD		
Vanadio (V)	11420	mg/L	0,0001	0,0041	0,0053
Zinc (Zn)	11420	mg/L	0,0100	< 0,0100	0,0179
<b>015 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS</b>					
Bacterias Heterotroficas	8810	UFC/mL	1	5200	1200
Coliformes Fecales (Termotolerantes)	8819	NMP/100 mL	1,1	< 1,1	12
Coliformes Totales	8813	NMP/100 mL	1,1	16	>23
Escherichia coli	8827	NMP/100mL	1,1	< 1,1	3,6
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos*	10351	N°org/L	1	< 1	< 1
<b>015 MICROBIOLÓGICOS</b>					
Huevos y Larvas de Helmintos*	10060	Org/L	1	< 1	< 1
Organismos de Vida Libre*	16597	N° Organismo/L	1	140	59775
Organismos de Vida Libre, Algas*	16597	N° Organismo/L	1	140	59750
Organismos de Vida Libre, Copépodos*	16597	N° Organismo/L	1	< 1	< 1
Organismos de Vida Libre, Nemátodos*	16597	N° Organismo/L	1	< 1	< 1
Organismos de Vida Libre, Protozoarios*	16597	N° Organismo/L	1	< 1	< 1
Organismos de Vida Libre, Rotíferos*	16597	N° Organismo/L	1	< 1	25

## Observaciones

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL – DA

Coliformes fecales equivale a decir Coliformes Fecales (Termotolerantes) (SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E 1, 22nd Ed 2012).

## CONTROLES DE CALIDAD

### Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Reporte
Aluminio (Al)	0,002	mg/L	< 0,002	26/09/2016
Antimonio (Sb)	0,00004	mg/L	< 0,00004	26/09/2016
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	< 0,00003	26/09/2016
Bacterias Heterotroficas	1	UFC/mL	< 1	21/09/2016
Bario (Ba)	0,0001	mg/L	< 0,0001	26/09/2016
Berilio (Be)	0,00002	mg/L	< 0,00002	26/09/2016
Bismuto (Bi)	0,00002	mg/L	< 0,00002	26/09/2016
Boro (B)	0,002	mg/L	< 0,002	26/09/2016
Cadmio (Cd)	0,00001	mg/L	< 0,00001	26/09/2016
Calcio (Ca)	0,10	mg/L	< 0,10	26/09/2016
Cianuro Total	0,001	mg/L	< 0,001	22/09/2016
Cloruros, Cl-	0,020	mg/L	< 0,020	24/09/2016
Cloruros, Cl-	0,020	mg/L	< 0,020	24/09/2016
Cobalto (Co)	0,00001	mg/L	< 0,00001	26/09/2016
Cobre (Cu)	0,00003	mg/L	< 0,00003	26/09/2016
Coliformes Fecales (Termotolerantes)	1,1	NMP/100 mL	< 1,1	21/09/2016
Coliformes Totales	1,1	NMP/100 mL	< 1,1	21/09/2016
Color Verdadero	1	UC	< 1	04/10/2016
Cromo (Cr)	0,0001	mg/L	< 0,0001	26/09/2016
Dureza Total	1,0	mg CaCO3/L	< 1,0	29/09/2016
Escherichia coli	1,1	NMP/100 mL	< 1,1	21/09/2016
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	< 0,00003	26/09/2016
Estroncio (Sr)	0,0002	mg/L	< 0,0002	26/09/2016
Fosforo (P)	0,015	mg/L	< 0,015	26/09/2016
Hierro (Fe)	0,0004	mg/L	< 0,0004	26/09/2016

## INFORME DE ENSAYO: 33787/2016

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Reporte
Litio (Li)	0,0001	mg/L	< 0,0001	26/09/2016
Magnesio (Mg)	0,003	mg/L	< 0,003	26/09/2016
Manganeso (Mn)	0,00003	mg/L	< 0,00003	26/09/2016
Mercurio (Hg)	0,00003	mg/L	< 0,00003	26/09/2016
Molibdeno (Mo)	0,00002	mg/L	< 0,00002	26/09/2016
Niquel (Ni)	0,0002	mg/L	< 0,0002	26/09/2016
Nitratos, (como N)	0,003	mg/L	< 0,003	24/09/2016
Nitratos, (como N)	0,003	mg/L	< 0,003	24/09/2016
Nitritos, (como N)	0,001	mg/L	< 0,001	24/09/2016
Nitritos, (como N)	0,001	mg/L	< 0,001	24/09/2016
Plata (Ag)	0,000003	mg/L	< 0,000003	26/09/2016
Plomo (Pb)	0,0002	mg/L	< 0,0002	26/09/2016
Potasio (K)	0,04	mg/L	< 0,04	26/09/2016
Selenio (Se)	0,0004	mg/L	< 0,0004	26/09/2016
Silicio (Si)	0,2	mg/L	< 0,2	26/09/2016
Sodio (Na)	0,006	mg/L	< 0,006	26/09/2016
Sólidos Totales Disueltos	2	mg Sólidos Totales Disueltos/L	< 2	03/10/2016
Sulfatos, SO4-2	0,015	mg/L	< 0,015	24/09/2016
Sulfatos, SO4-2	0,015	mg/L	< 0,015	24/09/2016
Talio (Tl)	0,00002	mg/L	< 0,00002	26/09/2016
Titanio (Ti)	0,0002	mg/L	< 0,0002	26/09/2016
Uranio (U)	0,000003	mg/L	< 0,000003	26/09/2016
Vanadio (V)	0,0001	mg/L	< 0,0001	26/09/2016
Zinc (Zn)	0,01	mg/L	< 0,01	26/09/2016

### Control Estándar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Reporte
Aluminio (Al)	99,7	80-120	26/09/2016
Antimonio (Sb)	103,8	80-120	26/09/2016
Arsénico (As)	105,0	80-120	26/09/2016
Bacterias Heterotróficas	POSITIVO	---	21/09/2016
Bario (Ba)	104,6	80-120	26/09/2016
Berilio (Be)	99,0	80-120	26/09/2016
Bismuto (Bi)	106,1	80-120	26/09/2016
Boro (B)	94,0	80-120	26/09/2016
Cadmio (Cd)	101,9	80-120	26/09/2016
Calcio (Ca)	98,6	80-120	26/09/2016
Cianuro Total	97,6	80-120	22/09/2016
Cianuro Total	94,8	80-120	22/09/2016
Cloruros, Cl-	97,8	90-110	24/09/2016
Cloruros, Cl-	97,3	90-110	24/09/2016
Cobalto (Co)	101,2	80-120	26/09/2016
Cobre (Cu)	103,7	80-120	26/09/2016
Coliformes Fecales (Termotolerantes)	Positivo	---	21/09/2016
Coliformes Fecales (Termotolerantes)	Negativo	---	21/09/2016
Coliformes Totales	Positivo	---	21/09/2016
Coliformes Totales	Negativo	---	21/09/2016
Color Verdadero	104,0	85-115	04/10/2016
Color Verdadero	99,5	85-115	04/10/2016
Cromo (Cr)	106,8	80-120	26/09/2016
Dureza Total	99,6	85-115	29/09/2016
Dureza Total	102,0	85-115	29/09/2016
Escherichia coli	Positivo	---	21/09/2016
Escherichia coli	Negativo	---	21/09/2016
Estaño (Sn)	102,9	80-120	26/09/2016

## INFORME DE ENSAYO: 33787/2016

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Reporte
Estroncio (Sr)	105,0	80-120	26/09/2016
Fosforo (P)	102,0	80-120	26/09/2016
Hierro (Fe)	100,7	80-120	26/09/2016
Litio (Li)	99,2	80-120	26/09/2016
Magnesio (Mg)	97,0	80-120	26/09/2016
Manganeso (Mn)	106,6	80-120	26/09/2016
Mercurio (Hg)	102,4	80-120	26/09/2016
Molibdeno (Mo)	105,9	80-120	26/09/2016
Níquel (Ni)	104,8	80-120	26/09/2016
Nitratos, (como N)	97,4	90-110	24/09/2016
Nitratos, (como N)	98,9	90-110	24/09/2016
Nitritos, (como N)	95,0	90-110	24/09/2016
Nitritos, (como N)	100,3	90-110	24/09/2016
Plata (Ag)	104,4	80-120	26/09/2016
Plomo (Pb)	106,6	80-120	26/09/2016
Potasio (K)	102,6	80-120	26/09/2016
Selenio (Se)	103,6	80-120	26/09/2016
Silicio (Si)	104,0	80-120	26/09/2016
Sodio (Na)	97,5	80-120	26/09/2016
Sólidos Totales Disueltos	100,4	90-110	03/10/2016
Sólidos Totales Disueltos	98,8	90-110	03/10/2016
Sulfatos, SO4-2	96,2	90-110	24/09/2016
Sulfatos, SO4-2	94,2	90-110	24/09/2016
Talio (Tl)	103,7	80-120	26/09/2016
Titanio (Ti)	98,8	80-120	26/09/2016
Uranio (U)	102,5	80-120	26/09/2016
Vanadio (V)	104,6	80-120	26/09/2016
Zinc (Zn)	102,6	80-120	26/09/2016

LD = Límite de detección

### DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
SR-1	Corplab	Agua de Bebida	17/09/2016	16/09/2016	8203830N 697046E	En buen estado de conservación	Ocoña
PP-2	Corplab	Agua de Bebida	17/09/2016	16/09/2016	8193861N 698394E	En buen estado de conservación	Ocoña

# INFORME DE ENSAYO: 33787/2016

## REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
16189	AQP	Aniones por Cromatografía Iónica	EPA METHOD 300.0, Rev 2. 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography
11585	LME	Cianuro Total	ISO 14403-2 (Validado), First edition, 2012	Water quality - Determination of total cyanide and free cyanide using flow analysis (FIA and CFA)
1823	AQP	Cloro Residual Libre (Campo)	CORPLAB-MC-001, (Validado) 2009	Basado en SM4500-Cl G, DPD Colorimetric Method
8801	AQP	Color verdadero	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 22nd Ed. 2012	Color: Spectrophotometric Single Wavelength Method (Proposed)
1825	AQP	Conductividad (Campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. 2012	Conductivity: Laboratory Method
1829	AQP	Dureza Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 22nd Ed. 2012	Hardness: EDTA Titrimetric Method
10060	LME	Huevos y Larvas de Helmintos*	Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio (Bailenger modificado ) OMS 1997.	Determinación de Huevos de Helmintos: Referenciado en Análisis de Aguas residuales para su uso en agricultura. Manual de Técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio.
11420	LME	Metales Totales por ICP-MS	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
8819	AQP	Numeración de Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 22nd Ed. 2012	Multiple-Tube Fermentation Technique for members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure
8813	AQP	Numeración de Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 22nd Ed. 2012	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
8827	AQP	Numeración de Escherichia Coli	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F, 22nd Ed. 2012	Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate
16597	LME	Organismos de Vida Libre*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 F (F.2.a,b,c.1), G 22nd Ed. 2012 - Bailenger Mod/OMS, Rachel Ayres & Duncan Mara, Ginebra 1997	Plankton. Phytoplankton Counting Techniques
1840	AQP	pH (Campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed. 2012	pH Value Electrometric Method
10351	AQP	Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos*	Método Simplificado de Análisis Microbiológicos (1983)	Método Simplificado de Análisis Microbiológicos (1983)
8810	AQP	Recuento de Bacterias Heterotróficas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9215 B, 22nd Ed. 2012	Pour Plate Method
1842	AQP	Sólidos Totales Disueltos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 22nd Ed. 2012	Solids: Total Dissolved Solids Dried at 180°C
1845	AQP	Turbidez (Campo)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed. 2012	Turbidity, Nephelometric Method

## REFERENCIA DE LOS MÉTODOS DE MUESTREO

Tipo de Muestra	Procedimiento de Muestreo	Descripción	Plan de Muestreo
Agua	POS N° 034	Procedimiento de Muestreo, Conservación y Transporte de Agua	78271

# INFORME DE ENSAYO: 33787/2016

## CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 33787/2016, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS, visitar el sitio Web [www.corplab.net](http://www.corplab.net) e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS - CORPLAB	Código único de Autenticidad
SR-1	343206/2016-1.0	torpplo&3602343
PP-2	343211/2016-1.0	uorpplo&3112343

ALS asegurando la marca y prestigio de su empresa.

## COMENTARIOS

**AQP:** Av. Dolores 167 - Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa.

**LME:** Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima.

**"EPA":** U.S. Environmental Protection Agency.

**"SM":** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

**"ASTM":** American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en Corporación de Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C, su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de Corporación de Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

# ANEXO E

Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA)



Protocolo Nacional para el  
**Monitoreo de la Calidad**  
de los Recursos Hídricos Superficiales

(Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)

## 6.14. Medición de los parámetros de campo

Los parámetros para medir en campo son pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, entre otros. Para la medición de parámetros en campo se recomienda tener en cuenta lo siguiente:

- ◆ En el caso de ríos accesibles y de bajo caudal, se recomienda tomar los parámetros de campo directamente en el cuerpo de agua, caso contrario utilizar un balde limpio y transparente.



- ◆ Medir los parámetros oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y temperatura (como mínimo), la lectura de los valores deberá ser realizada de forma inmediata, luego de tomada la muestra de agua.
  - ◆ Si se producen variaciones significativas de medidas entre dos muestras, es necesario calibrar el equipo.
  - ◆ Las mediciones deberán registrarse en el formato de registro de datos de campo (véase el anexo I).
- ◆ Se deberán limpiar los equipos de muestreo inmediatamente después de su uso y, adicionalmente, entre muestreo y muestreo, a fin de evitar posibles contaminaciones y deterioro. Para la limpieza exterior de los equipos de muestreo es recomendable lavarlos con suficiente agua destilada/desionizada, sin causar daños internos que puedan alterar las características de los diferentes componentes. Es importante llevar a campo las herramientas necesarias y apropiadas para efectuar la limpieza de los equipos que lo requieran.

## 6.15. Procedimiento para la toma de muestras

Antes de iniciar el muestreo, todo el personal que manipula los equipos de toma de muestra, los recipientes y frascos o los reactivos de preservación, deberá colocarse guantes descartables, mascarilla y gafas protectoras.

# ANEXO F

Reglamento de la Calidad del Agua  
para consumo Humano

(D.S. 031-2010-SA)



PERÚ

Ministerio  
de Salud

# Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano



## ANEXO I

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS  
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Feccales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(\*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 / 100 ml

## ANEXO II

## LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	$\mu\text{mho/cm}$	1 500
7. Sólidos totales disueltos	$\text{mg L}^{-1}$	1 000
8. Cloruros	$\text{mg Cl}^{-} \text{ L}^{-1}$	250
9. Sulfatos	$\text{mg SO}_4^{-} \text{ L}^{-1}$	250
10. Dureza total	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	500
11. Amoniaco	$\text{mg N L}^{-1}$	1,5
12. Hierro	$\text{mg Fe L}^{-1}$	0,3
13. Manganeseo	$\text{mg Mn L}^{-1}$	0,4
14. Aluminio	$\text{mg Al L}^{-1}$	0,2
15. Cobre	$\text{mg Cu L}^{-1}$	2,0
16. Zinc	$\text{mg Zn L}^{-1}$	3,0
17. Sodio	$\text{mg Na L}^{-1}$	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

## ANEXO III

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE  
PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2. Arsénico ( <b>nota 1</b> )	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
3. Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,700
4. Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1,500
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0,070
7. Cloro ( <b>nota 2</b> )	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11. Flúor	mg F L <sup>-1</sup>	1,000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13. Niquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0,015
Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales ( <b>nota 3</b> )		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL <sup>-1</sup>	0,01
3. Aceites y grasas	mgL <sup>-1</sup>	0,5
4. Alacloro	mgL <sup>-1</sup>	0,020
5. Aldicarb	mgL <sup>-1</sup>	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mgL <sup>-1</sup>	0,00003
7. Benceno	mgL <sup>-1</sup>	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0,001
10. Endrín	mgL <sup>-1</sup>	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL <sup>-1</sup>	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL <sup>-1</sup>	0,00003
14. Metoxicloro	mgL <sup>-1</sup>	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL <sup>-1</sup>	0,009
16. 2,4-D	mgL <sup>-1</sup>	0,030
17. Acrilamida	mgL <sup>-1</sup>	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL <sup>-1</sup>	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL <sup>-1</sup>	0,0003
20. Benzopireno	mgL <sup>-1</sup>	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0,03
22. Tetracloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0,04

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
23. Monocloramina	mgL <sup>-1</sup>	3
24. Tricloroeteno	mgL <sup>-1</sup>	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mgL <sup>-1</sup>	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL <sup>-1</sup>	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	0,3
29. 1,1- Dicloroeteno	mgL <sup>-1</sup>	0,03
30. 1,2- Dicloroeteno	mgL <sup>-1</sup>	0,05
31. Diclorometano	mgL <sup>-1</sup>	0,02
32. Ácido edético (EDTA)	mgL <sup>-1</sup>	0,6
33. Etilbenceno	mgL <sup>-1</sup>	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mgL <sup>-1</sup>	0,0006
35. Acido Nitrilotriacético	mgL <sup>-1</sup>	0,2
36. Estireno	mgL <sup>-1</sup>	0,02
37. Tolueno	mgL <sup>-1</sup>	0,7
38. Xileno	mgL <sup>-1</sup>	0,5
39. Atrazina	mgL <sup>-1</sup>	0,002
40. Carbofurano	mgL <sup>-1</sup>	0,007
41. Clorotoluron	mgL <sup>-1</sup>	0,03
42. Cianazina	mgL <sup>-1</sup>	0,0006
43. 2,4- DB	mgL <sup>-1</sup>	0,09
44. 1,2- Dibromo-3- Cloropropano	mgL <sup>-1</sup>	0,001
45. 1,2- Dibromoetano	mgL <sup>-1</sup>	0,0004
46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP)	mgL <sup>-1</sup>	0,04
47. 1,3- Dicloropropeno	mgL <sup>-1</sup>	0,02
48. Dicloroprop	mgL <sup>-1</sup>	0,1
49. Dimetato	mgL <sup>-1</sup>	0,006
50. Fenoprop	mgL <sup>-1</sup>	0,009
51. Isoproturon	mgL <sup>-1</sup>	0,009
52. MCPA	mgL <sup>-1</sup>	0,002
53. Mecoprop	mgL <sup>-1</sup>	0,01
54. Metolacloro	mgL <sup>-1</sup>	0,01
55. Molinato	mgL <sup>-1</sup>	0,006
56. Pendimetalina	mgL <sup>-1</sup>	0,02
57. Simazina	mgL <sup>-1</sup>	0,002
58. 2,4,5- T	mgL <sup>-1</sup>	0,009
59. Terbutilazina	mgL <sup>-1</sup>	0,007
60. Trifluralina	mgL <sup>-1</sup>	0,02
61. Cloropirifos	mgL <sup>-1</sup>	0,03
62. Piriproxifeno	mgL <sup>-1</sup>	0,3
63. Microcistin-LR	mgL <sup>-1</sup>	0,001

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
64. Bromato	mgL <sup>-1</sup>	0,01
65. Bromodiclorometano	mgL <sup>-1</sup>	0,06
66. Bromoformo	mgL <sup>-1</sup>	0,1
67. Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)	mgL <sup>-1</sup>	0,01
68. Cloroformo	mgL <sup>-1</sup>	0,2
69. Cloruro de cianógeno (como CN)	mgL <sup>-1</sup>	0,07
70. Dibromoacetónitrilo	mgL <sup>-1</sup>	0,1
71. Dibromoclorometano	mgL <sup>-1</sup>	0,05
72. Dicloroacetato	mgL <sup>-1</sup>	0,02
73. Dicloroacetónitrilo	mgL <sup>-1</sup>	0,9
74. Formaldehído	mgL <sup>-1</sup>	0,02
75. Monocloroacetato	mgL <sup>-1</sup>	0,2
76. Tricloroacetato	mgL <sup>-1</sup>	0,2
77. 2,4,6- Triclorofenol		

**Nota 1:** En caso de los sistemas existentes se establecerá en los Planes de Adecuación Sanitaria el plazo para lograr el límite máximo permisible para el arsénico de 0,010 mgL<sup>-1</sup>.

**Nota 2:** Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL<sup>-1</sup>.

**Nota 3:** La suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Cloroformo, Dibromoclorometano, Bromodiclorometano y Bromoformo) con respecto a sus límites máximos permisibles no deberá exceder el valor de 1,00 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{LMP_{\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{LMP_{\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodiclorometano}}}{LMP_{\text{Bromodiclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{LMP_{\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

donde, C: concentración en mg/L, y LMP: límite máximo permisible en mg/L