

Informe Técnico N° A6677

INSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA, PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS, EN LA SUB CUENCA SANTA EULALIA

SECTORES: CALLAHUANCA - CHAUCA,
SAN PEDRO DE CASTA Y CHACLLA, PROVINCIA DE HUAROCHIRÍ, LIMA



Por:

FLUQUER PEÑA LAUREANO
MAURA ALEJANDRA CHARCA HUARICALLO
ELMER CONDORI QUISPE

ABRIL 2015

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO



**INSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE
ACUÍFEROS EN LA SUBCUENCA SANTA EULALIA, SECTORES
COMPRENDIDOS ENTRE CALLAHUANCA-CHAUCA, SAN PEDRO DE CASTA Y
CHACLA**

PROVINCIA DE HUAROCHIRÍ, REGIÓN LIMA

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
	1.1 Ubicación y accesibilidad.....	3
	1.2 Objetivos.....	4
	1.3 Actividades desarrolladas	4
	1.4 Participación.....	5
II	GEOMORFOLOGÍA.....	7
	2.1 Aspectos climáticos.....	9
	2.2 Hidrografía del área.....	9
III	ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	11
	3.1 Estratigrafía.....	11
	Formación Arahua.....	11
	Grupo Rímac.....	11
	Formación Colqui.....	12
	Formación Millotingo.....	12
	Depósitos fluvioglaciares.....	13
	Depósitos Aluviales.....	13
	Rocas intrusivas y subvolcánicas.....	13
IV	HIDROGEOLOGÍA.....	15
	4.1. INVESTIGACIONES HIDROGEOLÓGICAS EN EL ÁREA.....	15
	4.1.1. Identificación de fuentes de aguas subterránea.....	16
	4.2 CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	18
	4.2.1 Conductividad Hidráulica.....	18
	4.3 HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	24
	4.3.1. Estaciones de muestreo de aguas subterráneas.....	24
	4.3.2. Selección de la serie analítica.....	24
	4.3.3. Análisis de resultados.....	25
	Interpretaciones.....	26
V	PROPUESTAS DE RECARGA ARTIFICIAL.....	27
	5.1 Recarga artificial mediante zanjas de infiltración.....	28
	Callahuanca –Chauca.....	28
	Chaclla.....	29
	Diseño de zanjas de infiltración Callahuanca-Chauca y Chaclla.	29
	Mantenimiento anual de zanjas de infiltración.....	30
	5.2 Recarga artificial mediante amunas o canales de infiltración....	30

San Pedro de Casta.....	31
Diseño de amunas o canales de infiltración.....	31
CONCLUSIONES.....	35
RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS.....	37
ANEXOS.....	38

INSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN LA SUBCUENCA SANTA EULALIA, SECTORES COMPRENDIDOS ENTRE CALLAHUANCA-CHAUCA, SAN PEDRO DE CASTA Y CHACLLA PROVINCIA DE HUAROCHIRÍ, REGIÓN LIMA

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú – Ingemmet, realizó la inspección hidrogeológica de los sectores comprendidos entre Callahuanca, Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla, por pedido expreso de la asociación de comunidades de la subcuenca Santa Eulalia, ubicada en la cuenca del río Rímac, y del Programa Agua, Clima y Desarrollo en la subcuenca Santa Eulalia, que lo lidera el Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables de la Pontificia Universidad Católica del Perú (INTE-PUCP), a través del Global Water Partnership South América, Foro Peruano para el Agua.

La inspección de campo consistió en la evaluación hidrogeológica de tres sectores que serán intervenidos con técnicas de recarga artificial de acuíferos.

El presente reporte describe el marco geológico de la zona y aspectos puntuales de hidrogeología, con la finalidad de diseñar propuestas adecuadas para la recarga artificial de acuíferos.

Los trabajos de campo se basan en la identificación de unidades lito estratigráficas (tipos de roca), lineamientos y estructuras (fallas, fracturas, diaclasas, etc.) condicionantes del movimiento del agua subterránea, pruebas de campo y toma de muestras.

Los diseños de recarga artificial obedecen a los resultados de la evaluación hidrogeológica, de las pruebas de campo y de los ensayos de infiltración, además de la ubicación de fuentes de agua superficial disponibles para la alimentación y recarga.

1.1. Ubicación y accesibilidad

El área evaluada y seleccionada para la recarga artificial de acuíferos, se encuentran aledaños a las tres localidades en mención, se ubican en la parte sureste de la subcuenca Santa Eulalia, Provincia de Huarochirí, Región Lima (figura 1). No se encuentra en zona de amortiguamiento, ni en zona natural protegida, por lo que, los trabajos de exploración hidrogeológica de zonas para recarga artificial se desarrolló sin inconvenientes.

La ubicación geográfica (Datum: WGS 84) de las zona de recarga tiene las siguientes coordenadas:

Primer sector: Callahuanca-Chaclla:

Norte:	8693908
Este:	331478

Segundo sector: San Pedro de Casta:
Altitud Promedio: 3896 m s.n.m.
Norte: 8698577
Este: 334723
Altitud Promedio: 4242 m s.n.m.

Tercer sector: Chaclla:
Norte: 8703581
Este: 319298
Altitud Promedio: 3797 m s.n.m.

La accesibilidad a la zona del proyecto, desde la ciudad de Lima, tiene una distancia aproximada de 68 km (Callahuanca), 74.6 km (San Pedro de Casta) y a 65.3 km (Chaclla) siguiendo las siguientes rutas:

Lima – Chosica - Santa Eulalia - Callahuanca

Lima – Chosica - Santa Eulalia - San Pedro de Casta

Lima – Chosica - Santa Eulalia - Chaclla

1.2. Objetivos

- Identificar unidades hidrogeológicas con condiciones para la recarga artificial de acuíferos.
- Proponer diseños técnicos de recarga artificial en base a cálculos de la conductividad hidráulica y componente litológico de las formaciones geológicas.
- Identificar fuentes de agua superficial como elemento principal para la alimentación y recarga de acuíferos.

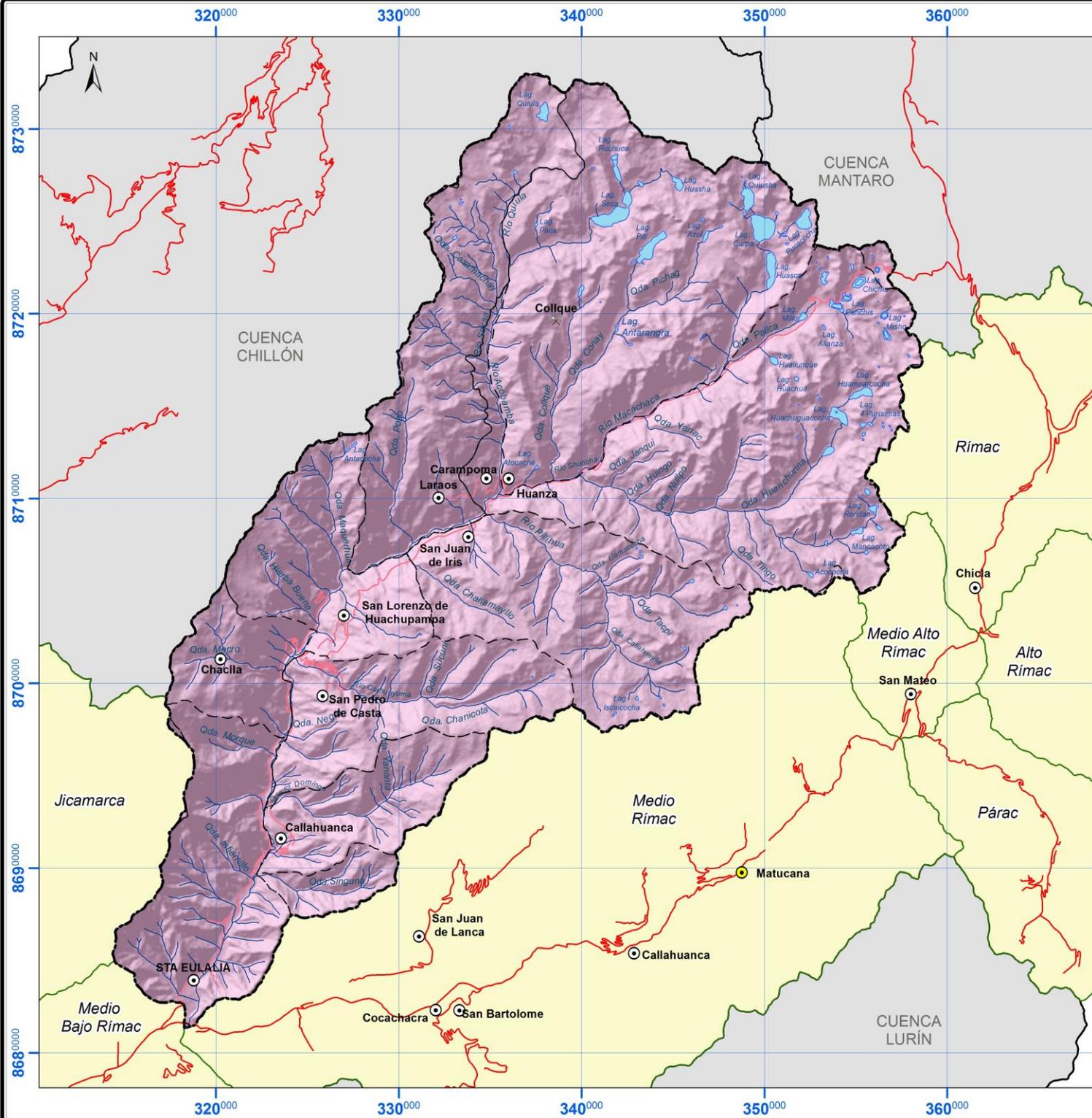
1.3. Actividades desarrolladas

- Recopilación y evaluación de la información geológica relacionada a las tres zonas de recarga artificial.
- Inventario de fuentes de aguas subterráneas que tengan relación con las zonas de intervención, en recarga artificial de acuíferos.
- Toma de muestras para análisis de aguas en el sector de Callahuanca- Chauca: manantial (1375544-188) y manantial captado (1375544-189).
- Ensayos de infiltración (según el método de Lefranc) para medir la permeabilidad de las rocas y suelos, en los tres sectores de Callahuanca- Chauca (2), San Pedro de Casta (3) y Chaclla (3).
- Preparación del presente reporte el cual incluye un mapa geológico y estructural, cuadros, análisis de resultados, gráficos de representación de la permeabilidad de rocas y suelos, identificación de las fuentes de recarga, concluyendo en el diseño de la recarga artificial de acuíferos a través de las amunas y zanjas de infiltración.

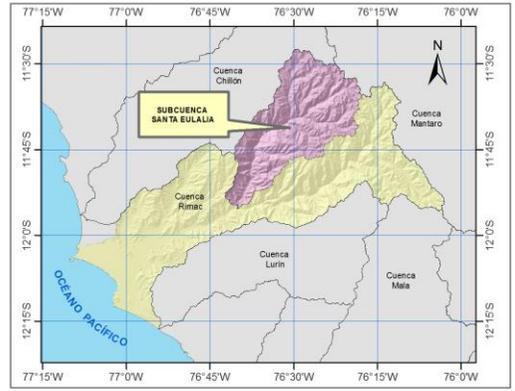
1.4. Participación

En la elaboración del presente informe participaron los hidrogeólogos MSc. Ing. Fluquer Peña y la Bach. Maura Charca, como responsables de la Inspección técnica, con el apoyo del Bach. Elmer Condori en los trabajos de campo y gabinete, además contamos con el apoyo de los practicantes Boris Santos y Karen Dueñas en los trabajos de gabinete.

Nuestro agradecimiento especial al señor Gregorio Ríos, representante de las comunidades de Callahuanca, Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla por su acompañamiento en todos los trabajos de campo, a los representantes del Foro Peruano Para el Agua y la INTE- PUCP quienes colaboraron y facilitaron la realización del presente informe.



UBICACIÓN GENERAL



LEYENDA

- Capital Provincial
- Capital Distrital
- ✂ Zonas Mineras
- Camino Transitable Todo el Año
- Cauce Perenne
- Cauce Intermitente
-
 Lagos
-
 Zona de Estudio
-
 Límite de Cuenca
-
 Límite de Subcuenca



**INSPECCIÓN HIDROGEOLOGICA DE LA
SUBCUENCA SANTA EULALIA
SECTOR DE CALLAHUANCA SAN PEDRO DE CASTA Y CHACLLA
MAPA DE UBICACIÓN**

Versión digital:
Año 2015

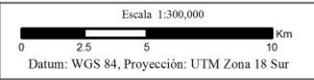


FIGURA Nº
1

CAPÍTULO II

GEOMORFOLOGÍA

Los tres sectores a ser intervenidos, se ubican en una zona de relieve montañoso, con laderas de mediana a alta pendiente, corresponden a los flancos de un valle joven erosionado en forma de V (río de la sub cuenca Santa Eulalia) y desarrollado sobre rocas volcánicas que dominan gran parte del paisaje de la región.

En cada sector resaltan laderas puntualmente encharcadas y saturadas de agua (por la época de lluvias).

En Callahuanca-Chauca destaca la surgencia de aguas subterráneas a través de dos manantiales alineados en dirección este – oeste (figura 2), perpendicular a una estructura (pliegue sinclinal) cuyo eje tiene dirección norte sur, la misma que, por su génesis y emplazamiento tiene influencia en la circulación y surgencia de las aguas subterráneas en medio de sus fracturas.

Estos sectores están emplazados sobre una morfología de ambiente volcánico del Paleógeno Neógeno, donde las rocas volcánicas se fueron formando en superficies accidentadas (laderas parcialmente onduladas) y en tramos puntuales sobre una superficie sub-horizontal se observa material morrénico acumulado, que cubren discretamente el basamento rocoso conformado por rocas volcánicas, principalmente tobas y flujos de lava.

La zona de recarga de Callahuanca-Chauca, tiene una ladera relativamente ondulada, aunque por sectores pequeños sobresalen laderas con pendientes fuertes a moderadas (mayores a 25°) configurada sobre materiales volcánicos, cubiertos parcialmente por materiales morrénicos (material acumulado, poroso no consolidado con clastos subangulosos y matriz areno limosa) y presencia de vegetación, típica de la época de lluvias (fotografía 1).

En el sector de San Pedro de Casta, la zona de recarga corresponde a una ladera de moderada pendiente, con esporádico afloramiento rocoso, presencia de depósitos de suelo y roca erosionada y acumulada en pequeños surcos. Presenta escasa a nula vegetación, en gran medida por la presencia de materiales erosionados en forma de caída de rocas y flujo de detritos (fotografía 2). En este sector se ubica una quebrada aledaña, con caudal estimado de 40 L/s, de donde se estaría captando el agua superficial para la recarga en amunas o canales de infiltración.

En el Sector de Chaclla se tiene laderas de moderada a baja pendiente, sin embargo el componente litológico tiene apariencia impermeable, producto de la meteorización y el paso de los años, las rocas volcánicas en este sector han generado alteración de su componente principal (plagioclasas) derivándolo a materiales finos (arcillas y en baja proporción limos), por lo tanto; se observa bancos de arcilla, las mismas que dificultan la infiltración de aguas en las zanjas y/o amunas (fotografía 3). En este sector, la parte media (eje de quebrada) tiene el mayor contenido de material arcilloso, incluso en la cabecera de la quebrada existe una perforación de 11 metros (especie de pozo exploratorio), totalmente seco, comprobando su característica impermeable.



Fotografía 1. Ladera con presencia de vegetación y material acumulado, cubriendo un basamento de rocas volcánicas, en el sector de Callahuanca-Chauca.



Fotografía 2. Ladera con escasa vegetación y material erosionado, se observa esporádica presencia de afloramientos de roca volcánica (flujos de lava). Sector de San Pedro de Casta.



Fotografía 3. Ladera de baja pendiente, se observa en la parte central de la quebrada en tonalidad clara (algo rojiza) la presencia de arcillas de característica impermeable, sector de Chaclla.

2.1 Aspectos climáticos

Las tres zonas de estudio se encuentran en la región Puna y Janca. Debido a la altura, el clima se caracteriza por días y noches frías. La temperatura máxima se produce en los meses de setiembre y abril, cuando llega por encima de los 15 °C, en esporádicas ocasiones y durante el día llega a 22 °C (con presencia de intensidad solar).

El clima en la región Janca es excesivamente riguroso para el desarrollo de las actividades del hombre.

La cubierta vegetal está constituida por vegetación dispersa, es escasa, pero se cuenta con la presencia de lchu en su gran mayoría. Se puede observar que, en el rango de altitud de 2 000 m s.n.m. a 4000 m s.n.m., se observa algunos arbustos y vegetación de pastos naturales estacionales, entre los 4000 m s.n.m. y 5000 m s.n.m., la presencia de pastos naturales es permanente.

2.2 Hidrografía del área

Desde el punto de vista hidrográfico, el río Rímac está formado por las subcuencas de los ríos Santa Eulalia y San Mateo que se unen (a la altura de la ciudad de Chosica), para formar el río principal que pasa por la ciudad de Lima. La cuenca del río Rímac tiene una superficie de 3 503.95 km², de la cual 2 302.1 km² corresponde a la cuenca húmeda, que representa el 65.7% del total (ANA, 2010). En los alrededores de la cuenca hay cumbres con más de 4 750 m s.n.m., de altitud, justo donde se ubican las tres zonas propuestas para la recarga artificial Callahuanca-Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla.

Según el informe del ANA (2010), los recursos hídricos superficiales de la cuenca del río Rímac, son de los más explotados de la costa peruana, se han construido centrales hidroeléctricas como: Matucana, Huinco, Callahuanca, Moyopampa y Huampani, para la generación de energía eléctrica, el uso principal del agua potable para la ciudad de Lima y el uso agrícola que aún existen en el valle del Rímac. Con el objetivo de afianzar el recurso hídrico que proviene del río Rímac, se represó quince (15) lagunas de la cuenca alta del río Santa Eulalia, cuyo volumen de regulación alcanza a 77 hm³.

Algunas de estas obras de represamiento fueron construidas a fines del siglo pasado y comienzos del actual. El aporte de lagunas y trasvases está dirigido principalmente al uso energético y poblacional, su regulación es significativa en el periodo de estiaje. Adicionalmente el aporte por trasvases y regulaciones del sistema Marcapomacocha (Mantaro) es de 157.05 hm³. El total de sistemas de regulación y trasvases es de 282.35 hm³, (EDEGEL, en ANA 2010).

Las propuestas de recarga artificial mediante Amunas se utilizaran para mejorar la disponibilidad hídrica de los centro poblados menores de Callahuanca-Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla sin influenciar en el caudal regulado del río Rímac.

CAPÍTULO III

ASPECTOS GEOLÓGICOS

Desde el punto de vista geológico, la cuenca del río Rímac está constituida por rocas sedimentarias marinas y continentales, las cuales fueron modificadas por el emplazamiento del batolito de la costa y por procesos orogénicos y epirogénicos que generaron fuerzas tectónicas, dando como resultado el levantamiento de los Andes y la existencia de grandes estructuras geológicas como fallas, pliegues y sobre-escurrimientos. En la figura 2, se muestra el mapa geológico, descrita para los tres lugares donde se pretende realizar la recarga artificial de acuíferos, es decir en los sectores aledaños a los centros poblados de Callahuanca-Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla.

Puntualmente las zonas de recarga están constituidas por rocas volcánicas como el basamento principal, las mismas que se encuentran relativamente deformadas, fracturadas y falladas. En sectores se observa afloramientos de rocas intrusivas y volcánicas (intercaladas), las mismas que se encuentran cubiertas por material erosionado del cuaternario.

En los sectores aledaños a Callahuanca-Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla, las características litológicas de las rocas (figura 2), corresponden en su mayoría a tobas y flujos de lava, a rocas sedimentarias (areniscas y lutitas) y depósitos no consolidados, cuyas edades varían desde el Cretácico hasta el Cuaternario reciente, sobresaliendo por su presencia en las tres zonas, las rocas volcánicas y coberturas cuaternarias. En el presente informe de inspección, se incluye un mapa geológico (figura 2) que cubre los tres sectores donde se realizarán los trabajos de recarga artificial y zonas aledañas, cuyas características se describe a continuación.

3.1. Estratigrafía

Formación Arahua

Aflora en el sector de San Pedro de Casta y al Sur de Chaclla. Está conformada, a la base por derrames andesíticos, mayormente afaníticos y porfiríticos, con estratificaciones poco definidas y recrystalizadas a hornfels pasando hacia arriba a una enorme secuencia de ftanitas afaníticas (cherts) en capas tabulares de 10 a 20 cm o bancos masivos con pigmentaciones bandeadas blanquecino-rosadas, gris oscuras a verdosas. La porción intermedia está compuesta de una alternancia de bancos moderados de calizas bituminosas con paquetes de limolitas o lodolitas ftaníticas con características impermeables. La sección superior se compone de metavolcánicos en capas moderadas con ftanitas oscuras o lodolitas calcáreas negras y calizas grises. Tiene 4000 m de espesor. La edad asignada es del Cretáceo Medio a Superior (Palacios et al., 1992).

Grupo Rímac

Aflora al norte del sector de Chaclla y al sureste de San Pedro de Casta. La parte inferior está compuesta por tobas en bancos masivos, de color blanco-

grisáceo brechas tobáceas con abundantes fragmentos piroclásticos y muy pocas fracturas, seguidos en la parte media de una intercalación de limolitas, lodolitas calcáreas, areniscas tobáceas y algunos niveles de calizas gris oscuras a negras con lavas andesíticas en su mayoría fracturada. En la parte superior se tienen conglomerados con material volcánico, piroclásticos, areniscas conglomerádicas y limolitas rojas, se observan también lavas fluidales con grandes plagioclasas tabulares. Todos con características semipermeables. Edad estimada es Eoceno-Oligoceno (Palacios et al., 1992).

Formación Colqui

Aflora al noreste del sector de Chaclla y San Pedro de Casta. Está constituida por lavas porfiríticas gris-verdosas a violáceas y algo brechoides seguido por lodolitas, areniscas con material volcánico de color oscuro, algo pizarrosas en capas delgadas y en la parte superior lavas de textura afanítica a veces porfiríticas, brechas parcialmente tobáceas en bancos gruesos. La edad de esta formación se le asigna al Neógeno. (De la Cruz; et al., 2003).

Formación Millotingo

Aflora en el distrito de Chaclla, en la parte norte de San Pedro de Casta y al este de Callahuanca y Chauca. Describen a la Formación Millotingo como un producto de una intensa actividad volcánica aunque, en la actualidad se observan solamente depósitos volcánicos por que los edificios volcánicos fueron destruidos con el paso del tiempo. Desde el punto de vista litológico está constituido por secuencias de rocas volcánicas, flujos tobáceos líticos de andesita, lavas andesíticas, riocácitas, flujos de bloques y clastos (debris flow) masivos seguido de una secuencia volcánico-sedimentaria (con presencia de areniscas), por sectores el material volcánico se intercalan con horizontes conglomerádicos.

La Formación Millotingo, principalmente donde afloran tobas fracturadas y flujos de lava, constituyen el objetivo de las obras de recarga, planteándose así la recarga artificial de acuíferos en los afloramientos rocosos de esta formación, en los tres sectores inspeccionados.

Se estima un espesor de 1,000 m. La edad asignada para esta formación es de Mioceno Plioceno (De la Cruz & Jaimes, 2003).

Formación Huarochirí

Aflora al noreste del distrito de Callahuanca. Se trata de una secuencia predominantemente tobácea, formada por productos de erupciones explosivas. Este vulcanismo piroclástico se alternan con secuencias de areniscas y limolitas de color gris verdoso y rojizo. Hacia la base se observa que las tobas yacen sobre rocas andesíticas de color gris violáceo. Esta formación presenta varios bancos de tobas pardo blanquecinas alternando con la secuencia sedimentario-volcánica.

Su espesor estimado es de 600 a 900 m y se le asigna como edad al Mioceno (Palacios et al., 1992).

Depósitos fluvioglaciares

Sus afloramientos se ubican al este de los distritos de Callahuanca y San Pedro de Casta. Corresponden a material acarreado por los ríos y la reducción de los glaciares antiguos; esto guarda relación con el proceso erosivo activado por el sensible levantamiento andino y las etapas de glaciación. Como consecuencia se han formado terrazas de material aluvial en las márgenes de los ríos, las más recientes junto al lecho.

Depósitos Aluviales

Están restringidos a la quebrada principal del río Santa Eulalia y Carhuayuma donde discurre agua de manera continua o extemporánea. Se encuentran como terrazas o superficies planas, los materiales fueron transportados desde la Cordillera Occidental hacia la parte baja de las planicies costeras para formar el gran abanico del río Rímac y Chillón. La litología de los depósitos aluviales varía según la posición de los afloramientos; en la parte alta de los ríos está conformado por bloques y conglomerados redondeados a subangulosos heterogéneos, heterométricos e inconsolidados en una matriz de arena gruesa con limos. Los ríos tributarios forman abanicos con material clasificado así como flujos de lodo y de escombros (mud flow, debris flow) formando terrazas.

ROCAS INTRUSIVAS Y SUBVOLCÁNICAS

Súper Unidad Paccho

Aflora en el distrito de Callahuanca, donde se han determinado cuerpos de tonalita gradando a diorita. Estas rocas por lo general son impermeables y de escaso interés hidrogeológico. Su edad estimada es Cretácico superior (Palacios et al., 1992).

Súper Unidad Santa Rosa

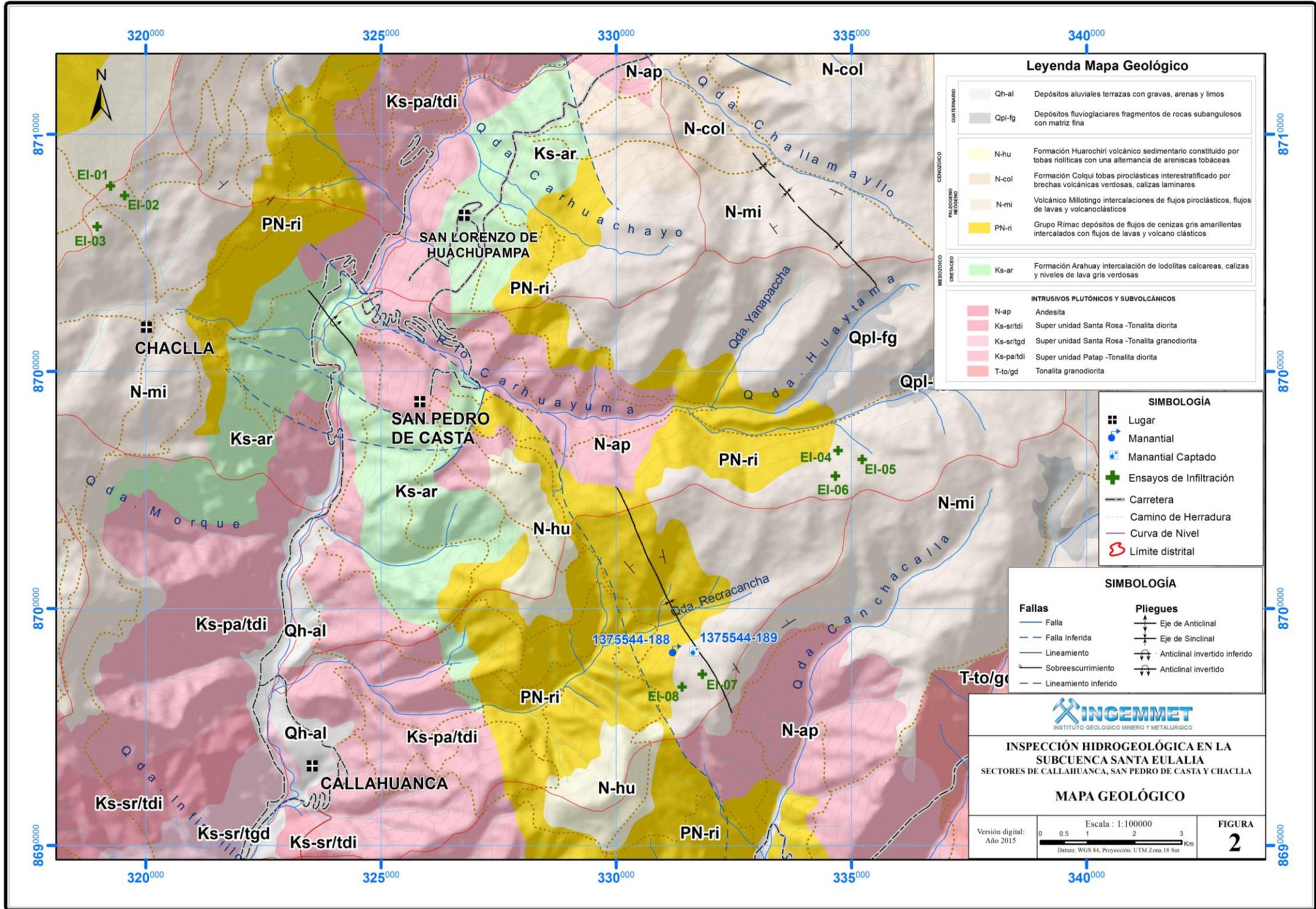
Esta súper unidad aflora al sur del distrito de Callahuanca, está constituida por cuerpos tonalítico-dioríticos y tonalítico granodioríticos, todos de características impermeables.

Monzonita, granodiorita

Aflora al sur del distrito de Callahuanca, por las quebradas San Juan y Urme. Está compuesta por fenocristales de feldespato, plagioclasa hornblenda y biotita. Tiene características impermeables y son de escaso interés hidrogeológico.

Andesita porfirítica

Aflora al este del distrito de Callahuanca y San Pedro de Casta por las quebradas Quingallo y Tapicura. Está constituido por una roca gris verdosa, porfirítica y matriz afanítica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda, en general son impermeables y tienen afloramiento localizado. La edad asignada es Neógeno (De la Cruz & Jaimes, 2003).



Leyenda Mapa Geológico

CUATERNARIO	
Qh-al	Depósitos aluviales terrazas con gravas, arenas y limos
Qpl-fg	Depósitos fluvio-glaciares fragmentos de rocas subangulosos con matriz fina
CENOZOICO	
PALEOGENO RECIENTE	
N-hu	Formación Huarochiri volcánico sedimentario constituido por tobas riolíticas con una alternancia de areniscas tobáceas
N-col	Formación Colqui tobas piroclásticas interstratificado por brechas volcánicas verdosas, calizas laminares
N-mi	Volcánico Millitongo intercalaciones de flujos piroclásticos, flujos de lavas y volcanoclasticos
PN-ri	Grupo Rimac depósitos de flujos de cenizas gris amarillentas intercalados con flujos de lavas y volcanoclasticos
MESOZOICO	
CRETACEO	
Ks-ar	Formación Arahuay intercalación de lodolitas calcareas, calizas y niveles de lava gris verdosas
INTRUSIVOS PLUTONICOS Y SUBVOLCANICOS	
N-ap	Andesita
Ks-sr/tdi	Super unidad Santa Rosa -Tonalita diorita
Ks-sr/tgd	Super unidad Santa Rosa -Tonalita granodiorita
Ks-pa/tdi	Super unidad Patap -Tonalita diorita
T-to/gd	Tonalita granodiorita

SIMBOLOGIA

- ⊠ Lugar
- ⊕ Manantial
- ⊕ Manantial Captado
- ⊕ Ensayos de Infiltración
- Carretera
- Camino de Herradura
- Curva de Nivel
- ⊕ Límite distrital

SIMBOLOGIA

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| Fallas | Pliegues |
| — Falla | ⊕ Eje de Anticlinal |
| — Falla Inferida | ⊕ Eje de Sinclinal |
| — Lineamiento | ⊕ Anticlinal invertido inferido |
| — Sobreescurrimiento | ⊕ Anticlinal invertido |
| — Lineamiento inferido | |



INSPECCIÓN HIDROGEOLOGICA EN LA SUBCUENCA SANTA EULALIA
SECTORES DE CALLAHUANCA, SAN PEDRO DE CASTA Y CHACLLA

MAPA GEOLOGICO

Versión digital: Año 2015	Escala : 1:100000 	FIGURA 2
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur		

CAPÍTULO IV

HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología del área, motivo del presente informe, se centralizó en la caracterización hidrogeológica de las zonas de recarga. Los resultados de campo se restringen a los ensayos de infiltración, las mismas que nos permitió calcular la permeabilidad o conductividad hidráulica de los lugares seleccionados para la recarga artificial. También se han tomado dos muestras de aguas, de dos manantiales en el sector de Chauca-Callahuanca. En base a estos datos y las observaciones de campo se han diseñado las dimensiones de las zanjas de infiltración y recarga.

4.1 INVESTIGACIONES HIDROGEOLÓGICAS EN EL ÁREA

4.1.1. Identificación de fuentes de aguas subterránea

Durante los trabajos de campo, realizado en plena época de lluvias, entre el 10 al 14 de febrero del 2015, se registró 2 descargas de aguas subterráneas de bajo caudal. Estas fuentes de aguas subterráneas son el objetivo principal de recarga, es decir los trabajos de recarga artificial en la zona de Callahuanca-Chaclla deben diseñarse para incrementar el caudal de producción de estas fuentes (fotografía 4 y anexo I, Inventario de fuentes).

Los trabajos de inventario de fuentes y aforos realizados, corresponden a épocas de lluvias (que no es ideal, para medir descargas en trabajos hidrogeológicos porque, los caudales suelen encontrarse elevados y no muestran el verdadero rendimiento de un manantial), por lo tanto; las descargas medidas en la presente campaña de campo, se tomaran como datos referenciales (cuadro 1). Sin embargo; a pesar de sus bajos caudales interpretamos que el fluido subterráneo se debe a la circulación somera sobre rocas volcánicas semipermeables, las mismas que cubren la mayor parte de la zona de estudio.

Para precisar la cantidad de agua subterránea que producen estas fuentes, recomendamos monitorear el caudal en época de estío (entre setiembre y octubre), meses en que el caudal total de los manantiales, corresponden a la descarga de los acuíferos presentes en la zona.

Los parámetros y medidas, consideradas para el trabajo de inventario de fuentes de agua subterránea son: código de identificación, ubicación geográfica coordenadas UTM (norte, este y altitud), ubicación política, parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, pH, TDS, Oxígeno disuelto, parámetros organolépticos, temperatura y otros), parámetros hidráulicos (caudal), uso del agua (verificación *in situ*), descripción del entorno y fecha de inventario (registro y muestreo). Se ha utilizado un código numérico de identificación en cada fuente para garantizar un buen inventario y un eficiente análisis químico de las muestras de agua, trabajos que en todo momento fueron coordinados con el señor Gregorio Ríos (representante de los centros poblados).

Las fuentes de aguas subterráneas inventariadas corresponden a surgencias en forma natural, son dos (2) manantiales de los cuales una se encuentra captada, para el consumo humano y riego de un fundo aledaño a la fuente (cuadro 1).

Estas dos fuentes se encuentran alineadas con dirección este oeste, cuya surgencia se observa por debajo de materiales no consolidados de cobertura (fotografía 4), condicionada por la presencia de los lineamientos perpendiculares al eje de un sinclinal que condicionan el movimiento y dirección de los flujos de aguas subterráneas. El segundo manantial se encuentra captado (fotografía 5).

La presencia de fuentes o manantiales en medios heterogéneos (rocas volcánicas de baja permeabilidad en contacto con materiales no consolidados de cobertura), nos permite caracterizar a estas fuentes como procedentes de flujos de circulación sub-superficial, donde el movimiento de agua se produce por medio materiales de cobertura de mínimos espesores y condicionada por la presencia de un sinclinal, como estructura impermeable (figura 2 y 3).

Para conocer sus características físicas y composición química de estos dos manantiales, se han tomado muestras de agua para ser analizadas por aniones y cationes mayoritarios, además de metales disueltos.

Cuadro 1
Resumen y evaluación de fuentes de agua subterránea inventariadas y parámetros físicos-químicos medidas *in situ*.

Nombre	Código	Este	Norte	Cota msnm	Caudal (L/s)	CE (uS/cm)	pH	T (°C)	Descripción
Patay	1375544-188	331203	8694074	3751	1.8	109.5	7.65	12	El manantial surge en medio de material morrenico, constituido por clastos de roca volcánica (andesitas) y matriz areno limosa
Sicacancha	1375544-189	331628	8694063	3933	0.65	94.42	7.62	11.2	Manantial captado surgente en rocas volcánicas andesíticas, el diámetro \varnothing de los fragmentos es de 30 cm en una matriz areno limosa no se observa un basamento, presenta alineamiento con la fuente anterior.

Fuente: Elaboración propia (INGEMMET, 2015)



Fotografía 4 Manantial Patay (1375544-188), surgencia en la parte inferior de depósitos materiales de relleno (morrénicos). Actualmente tiene un caudal de 0.65 L/s (época de lluvias).



Fotografía 5 Manantial captado Sicacancha (1375544-189), cuyo aprovechamiento se produce en los fundos aledaños a la captación, tiene un caudal de 1.8 L/s (época de lluvias).

En los sectores de San Pedro de Casta y Chaclla no se identificaron fuentes de aguas subterráneas en forma de manantiales, sin embargo; en San Pedro de Casta existe aguas superficiales en una quebrada aledaña la misma que se propone utilizar para realizar el proyecto de recarga. En la zona de Chaclla, se propone utilizar para la recarga, aguas de la precipitación pluvial.

4.2. CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Para las formaciones geológicas que afloran en el ámbito de estudio, se ha medido la permeabilidad vertical, a través de una infiltración puntual, que registra la conductividad hidráulica en las rocas y suelos. Para dicho cálculo se realizaron ocho (8) ensayos de infiltración utilizando el método de Lefranc a carga constante, 2 en Callahuanca-Chauca, 3 en San Pedro de Casta y 3 en Chaclla, cuyos resultados comparados con la tabla convencional de permeabilidades (Benítez, 1963 y Custodio, 1996) (cuadro 2), nos permitió obtener una correspondencia hidrogeológica a través de la conductividad hidráulica. Los ensayos se realizaron en rocas y suelos que afloran en la zona de estudio, por donde se trazarían las zanjas de infiltración (cuadro 2).

Cuadro N° 2
Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963).

Valores (m/día)	Permeabilidad										
	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero		
Tipo de Materiales	Arcilla compacta Granito		Limo arenoso Limo Arcilla Limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava Arena fina		Grava limpia		

Los 8 valores de conductividad hidráulica calculados e interpretados (anexo II) corresponden a rocas y suelos que afloran en la zona de estudio, aplicando la comparación con el cuadro de Benítez (cuadro 2), se observa variaciones considerables en el suelo y la roca con diferentes valores de conductividad hidráulica (cuadro 3). En general los rangos de permeabilidad encontrada corresponden a calificaciones de poco permeable a algo permeable.

4.2.1. Conductividad Hidráulica

Para calcular los valores de conductividad hidráulica en rocas ensayadas, se aplicó el software Aqtesolv versión 4.5, calculado en unidades de m/día (anexo II y gráfico 1), los que se describen a continuación:

Se realizaron los 8 ensayos de infiltración en rocas y suelo de la Formación Millotingo, la misma que posee una litología variada en rocas volcánicas, compuesto principalmente por piroclastos, flujos de lava y rocas vulcano-clásticos, además se observa varios sectores con horizontes de suelo limo-arcilloso de aspecto semipermeable (las arcillas son producto de la alteración de las plagioclasas, componente principal de las rocas volcánicas). Por todos estos materiales se trazaran las zanjas de infiltración o recarga artificial de acuíferos mediante Amunas. Los resultados alcanzados (cuadro 3 y grafico 1) mediante 8 ensayos de infiltración son:

- En el sector de Callahuanca-Chauca se realizaron dos ensayos de infiltración cuyos resultados son variados (cuadro 3). El ensayo EI-07 (fotografía 6) se realizó en zonas donde predomina la roca volcánica fracturada (flujos de lava y tobas), cuyo resultado ($EI-07 = 1.47 \text{ m/día}$), según la clasificación internacional de Benítez (cuadro 2) nos permite calificarlo como material permeable cuya clasificación hidrogeológica es de acuífero bueno.
- El segundo ensayo de Callahuanca-Chauca se realizó, en material no consolidado y meteorizado (suelo), por donde también se trazara la zanja de infiltración, cuyo resultado ($EI-08 = 2.76 \times 10^{-1} \text{ m/día}$) nos permiten clasificar a estos materiales como algo permeables y asignándole una calificación hidrogeológica de acuífero pobre. Estos valores nos permiten plantear que las zanjas de infiltración deben tener un diseño variado (principalmente en profundidad), de acuerdo al material por donde atraviesen.



Fotografía 6 Ensayo de Infiltración EI-07 con características permeables



Fotografía 7 Ensayo de Infiltración EI-08 con características semipermeables, nótese los materiales de limo arcilla.

- Los valores de conductividad hidráulica encontrada en el sector San Pedro de Casta, corresponde a tres ensayos de infiltración con el método de Lefranc (EI-04, EI-05 y EI-06) con valores de 2.276 m/día, 1.49 m/día y 1.81 m/día respectivamente (fotografía 8). Los tres valores encontrados corresponden a litologías permeables, se tratan de rocas volcánicas compuestas de flujos de lava fracturadas y alteradas, los cuales se encuentran con materiales acumulados producto de la caída de rocas y la meteorización en la ladera del cerro donde se pretende realizar la recarga, por lo tanto se le asigna una calificación de permeable y una clasificación hidrogeológica de acuífero bueno (cuadro 2).
- Para el sector de San Pedro de Casta, las condiciones geológicas e hidráulicas nos permiten proponer el diseño de amunas o canales de recarga, las mismas que acumularan aguas en época de lluvia y generaran descargas en épocas de estío además; en este sector existe una quebrada con agua superficial permanente que permitirá ser la fuente de alimentación y recarga.



Fotografía 8 Ensayo de Infiltración EI-06 con características permeables ($K: 1.811 \text{ m/día}$), nótese los materiales gravosos en la base de un antiguo canal, la misma que proponemos recuperarla y ponerla al servicio de la recarga artificial.

- En el sector de Chacla, los valores de conductividad hidráulica encontrados corresponden a materiales permeables y algo permeable, sin embargo en la parte media de la quebrada se observa alto contenido de arcillas plásticas de color rojizo producto de la alteración de las plagioclasas, de características impermeables. Los ensayos de infiltración realizados (EI-01= 1.386 m/día , EI-02= 1.238 m/día y EI-03= $3.301 \times 10^{-1} \cdot 386 \text{ m/día}$) (fotografía 9 y 10) evidencian características de permeabilidad muy variada. Los ensayos realizados en zonas donde hay mayor afloramiento rocoso (flujos de lava y tobas), corresponde a clasificaciones de permeable cuyo correspondiente hidrogeológico es acuífero bueno, sin embargo en zonas con arcillas rojizas (EI-03) su valor es poco a algo permeables y corresponde a acuífero pobre o materiales semipermeables. Por lo tanto para este sector solamente debe escogerse sectores puntuales para el diseño de las obras de recarga.



Fotografía 9 Ensayo de Infiltración EI-01 ($K=1.386$ m/día), nótese los materiales de limo arcilla y arena con esporádicos clastos de rocas volcánica, con Características permeables.



Fotografía 10 Ensayo de Infiltración EI-03 con características de algo a poco permeables ($K: 3.30 \times 10^{-1}$ m/día), nótese los materiales limo arcillosos de la matriz fina.

Cuadro N° 3

Valores de conductividad hidráulica en el área de estudio, Callahuanca-Chauca, San Pedro de Casta y Chacla

Lugar/ Sector	Código	Formación	Símbolo	Litología	Coordenadas			Conductividad d Hidráulica k(m/día)	Clasificación	Clasificación Hidrogeológica
					E	N	Cota			
Chacla	EI-01	Formación Millotingo	N-mi	Intercalaciones de flujos piroclastos, flujos de lava y volcanoclásticos	319298	8703581	3797	1.386E+00	Permeable	Acuífero bueno
	EI-02	Formación Millotingo	N-mi	Intercalaciones de flujos piroclastos, flujos de lava y volcanoclásticos	319287	8703564	3792	1.238E+00	Permeable	Acuífero bueno
	EI-03	Formación Millotingo	N-mi	Intercalaciones de flujos piroclastos, flujos de lava y volcanoclásticos	319047	8703175	3850	3.301E-01	Algo Permeable	Acuífero pobre
San Pedro de Casta	EI-04	Formación Millotingo	N-mi	Intercalaciones de flujos piroclastos, flujos de lava y volcanoclásticos	334504	8698640	4273	2.276E+00	Permeable	Acuífero bueno
	EI-05	Formación Millotingo	N-mi	Intercalaciones de flujos piroclastos, flujos de lava y volcanoclásticos	334723	8698577	4242	1.490E+00	Permeable	Acuífero bueno
	EI-06	Formación Millotingo	N-mi	Intercalaciones de flujos piroclastos, flujos de lava y volcanoclásticos	334692	8698564	4344	1.811E+00	Permeable	Acuífero bueno
Callahuanca - Chauca	EI-07	Formación Millotingo	N-mi	Intercalaciones de flujos piroclastos, flujos de lava y volcanoclásticos	331495	8693940	3891	1.471E+00	Permeable	Acuífero bueno
	EI-08	Formación Millotingo	N-mi	Intercalaciones de flujos piroclastos, flujos de lava y volcanoclásticos	331478	8693908	3896	2.758E-01	Algo Permeable	Acuífero pobre

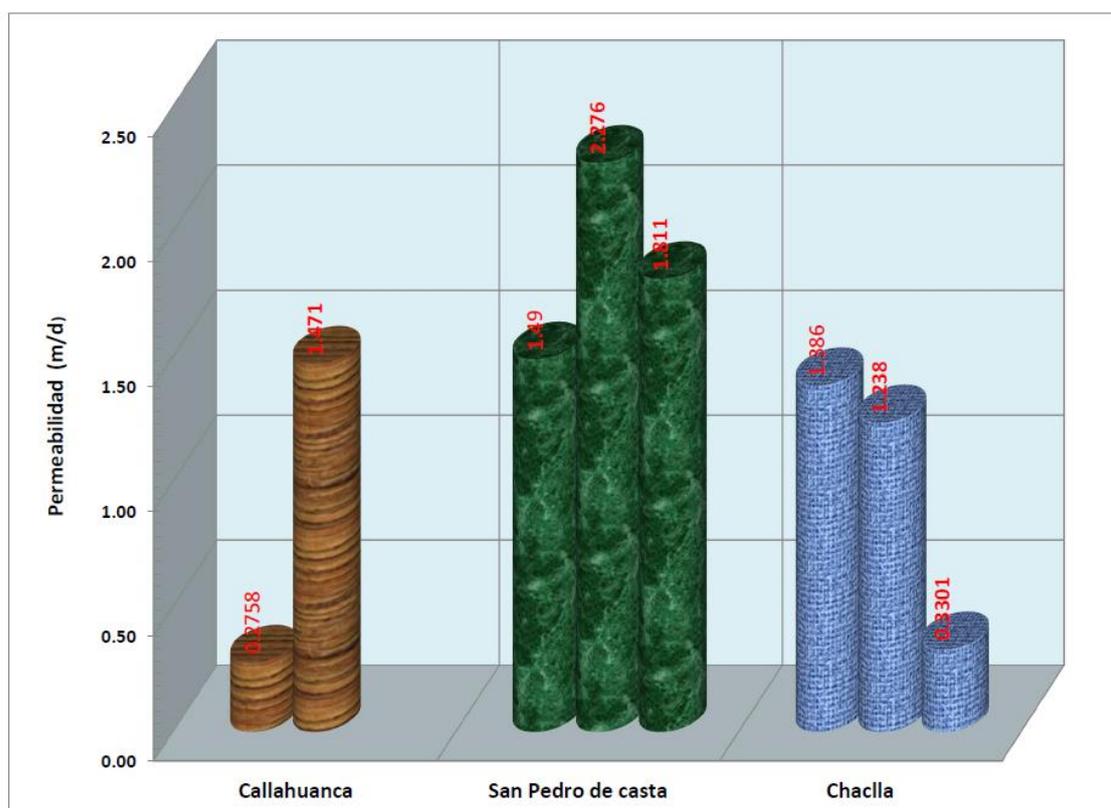


Gráfico 1. Conductividad hidráulica en las tres comunidades, nótese la diferencia entre los resultados en Callahuanca y Chacla. En San Pedro de Casta los resultados son semejantes.

4.3. HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

4.3.1. Estaciones de muestreo de aguas subterráneas

En el trabajo de campo se tomaron muestras de (2) fuentes de aguas subterráneas, correspondiente a los manantiales Patay (1375544-188) y Sicacancha (1375544-189) en el sector aledaño a los centros poblados de Callalhuanca y Chauca, uno de ellos esta captado para el consumo humano y riego.

Las muestras de agua subterránea se analizaron por aniones (cloruros, sulfatos y bicarbonatos) y cationes (metales disueltos). Se usó el método Titrimétrico para análisis de CO_3^{2-} , HCO_3^- , el método de Cromatografía Iónica para análisis de F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , el método de espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) y espectrometría de masa por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para el análisis de metales disueltos y trazas obteniéndose concentraciones de metales disueltos y trazas por 30 elementos.

El objetivo principal planteado en este acápite es evaluar la naturaleza de las descargas, su posible origen geoquímico, así como la interacción de las aguas subterráneas con las rocas volcánicas presentes en el entorno.

La ubicación de las estaciones de muestreo se presenta en el cuadro resumen y evaluación de fuentes de agua subterránea inventariadas (cuadro 1) con nombre y código de cada muestra.

4.3.2. Selección de la serie analítica

La serie analítica, se seleccionó con la finalidad de describir las propiedades de los componentes hidroquímicos que tienen las aguas subterráneas.

ANÁLISIS DE AGUAS:

Los parámetros más importantes medidos y analizados son los siguientes:

- Parámetros físico-químicos: pH, temperatura, conductividad eléctrica, TDS, carbonatos y bicarbonatos.
- Parámetros Inorgánicos: sulfato, cloruros y nitratos.
- Metales disueltos: Plata (Ag), Aluminio (Al), Arsénico (As), Boro (B), Bario (Ba), Berilio (Be), Bismuto (Bi), Cadmio (Cd), Cerio (Ce), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Lantano (La), Litio (Li), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Selenio (Se), Estaño (Sn), Estroncio (Sr), Thorio (Th), Zinc (Zn), Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Sodio (Na), entre los principales (serie estándar para metales disueltos)

En cada estación de muestreo, se registraron las coordenadas UTM del punto (proyección WGS 84) y las características físicas como apariencia, color y olor. Se tomaron parámetros de campo (pH, temperatura, conductividad eléctrica, TDS, etc.) y se recolectaron las muestras respectivas para los análisis en el laboratorio de química del Ingemmet. Para la toma de parámetros en campo, se utilizó dos equipos multiparamétricos de marca WTW y Thermo Orión. Estos equipos, se calibraron utilizando sus respectivos estándares y siguiendo las indicaciones del fabricante.

4.3.3. Análisis de resultados

Se tomaron muestras de aguas en las dos fuentes y se midieron parámetros físico-químicos *insitu*, con equipos portátiles.

Los detalles, métodos y resultados de laboratorio se encuentran en el anexo I, del presente informe.

Parámetros físico-químicos de las aguas

El valor del pH define la acidez y/o la alcalinidad del agua, siendo para aguas neutras los valores comprendidos entre 6.5 a 8.5, para aguas ácidas valores inferiores a 6.5 y para aguas básicas valores por encima de 8.5.

En ambas fuentes de Callahuanca-Chauca los valores de pH, son neutras cuyos valores son Patay (1375544-188: 6.75) y Sicacancha (1375544-189: 7.62) lo que corresponde a aguas de poca infiltración y escaso tiempo de residencia en el subsuelo.

Los valores de conductividad eléctrica nos indica el contenido de sales que ha podido adquirir estas aguas al momento de su residencia en el subsuelo. En Callahuanca-Chauca, las fuentes registradas tienen valores muy bajos de conductividad eléctrica, el manantial Patay (1375544-188:109.5 uS/cm) y el manantial Sicacancha (1375544-189: 94.42 uS/cm), lo que significa, muy bajo tiempo de residencia en el subsuelo, de infiltración corta y muy localizada, la misma que puede ser corroborada por la baja temperatura (Patay: 12 °C y Sicacancha: 11.2 °C).

Facies hidroquímicas

El predominio de las facies hidroquímicas se ha calculado usando el software Aquachem versión 5.1, que representa valores y predominio de los elementos químicos mayoritarios. Para establecer comparaciones entre los elementos predominantes se ha planteado los puntos en el diagramas de Stiff, los cuales nos permitirán visualizar los resultados.

Para el análisis e interpretación final se han utilizado los diagramas de Piper y Scatter.

El total de las fuentes analizadas y los resultados del análisis químico, se muestran en los cuadros del anexo III.

Diagramas de Stiff

Son representaciones gráficas, que muestran sintéticamente las características químicas principales del agua, facilitando su clasificación. En el gráfico 2, se observan los diagramas de Stiff para cada fuente muestreada y analizada

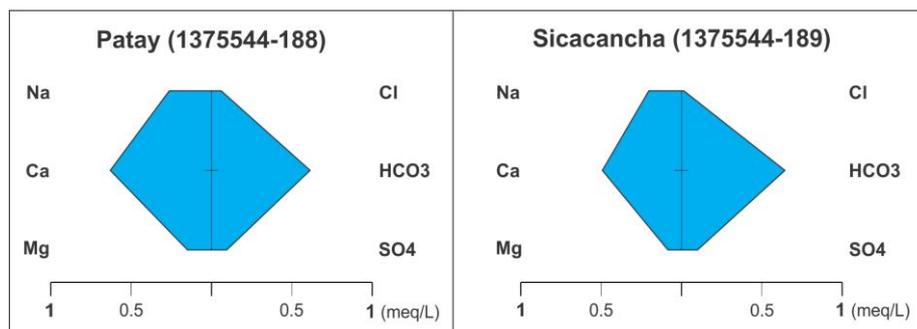


Gráfico 2 Resultado de iones predominantes en meq/L para las fuentes de los manantiales de Callahuanca-Chauca.

Interpretaciones

Las aguas subterráneas de Callahuanca-Chauca, son del tipo bicarbonatada cálcica, se clasifican como aguas jóvenes de recorrido local y poca profundidad de infiltración, de transitorio tiempo de contacto con los suelos y rocas de la zona, coincide con los valores de pH, conductividad eléctrica y con la baja temperatura de las aguas.

Corresponden a aguas dulces que proceden de la infiltración de la lluvia, tiene caudales bajos (Patay: 1.2 L/s y Sicacancha: 0.6 L/s).

DIAGRAMAS DE PIPER Y SCATTER

Se ha utilizado el diagrama de Piper y Scatter, para plotear los resultados de elementos mayoritarios, donde se representa las fuentes evaluadas en un mismo gráfico. Los puntos ploteados corresponden a los contenidos predominantes de aniones versus los cationes. Los diagramas de Scatter nos permite corroborar estas predominancias con la evolución de flujos utilizando la relación hidroquímica $Cl+SO_4$ vs $Na+K$ (meq/L) (Mifflin, 1988 en Ángeles et al, 2004) (gráfico 3).

- Considerando que las predominancias químicas están relacionadas con la evolución de flujos, se establece el gráfico comparativo entre el diagrama de Piper y el diagrama de Scatter.
- En aguas naturales las fuentes de predominio bicarbonatado tienen corto recorrido, es el caso de los manantiales Patay y Sicacancha, ambos de predominancia bicarbonatada cálcica, tienen flujo local y poco tiempo de residencia en el subsuelo (gráfico 3).
- Las rocas volcánicas de este sector están compuestas por tobos y flujos de lava, con fracturas sub-superficiales, es decir que a mayor profundidad las fracturas disminuyen en su cantidad, por lo tanto; las aguas de lluvia que infiltran por las fracturas de las rocas volcánicas al encontrar niveles menos permeables (disminución de la cantidad de fracturas), salen a superficie formando flujos sub-superficiales.

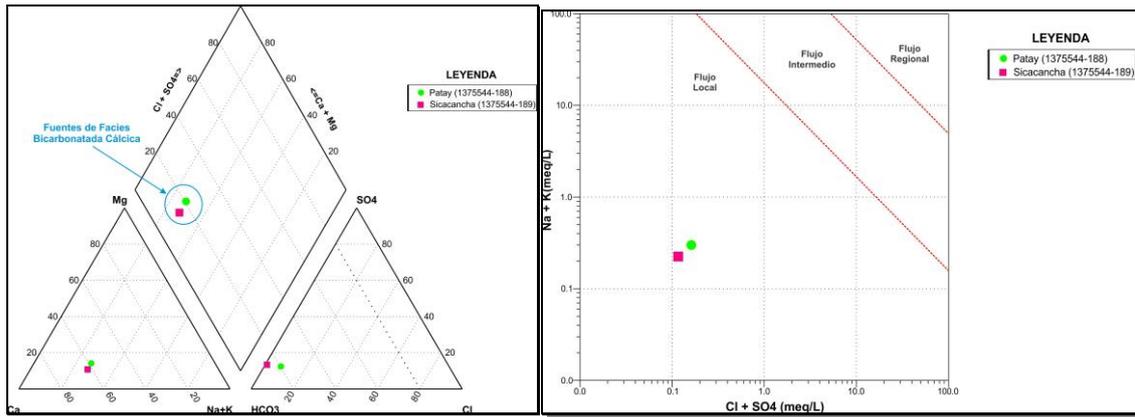


Gráfico 3 Diagrama de Piper y Scatter para fuentes de aguas subterráneas ubicadas en la parte alta del centro poblado de Chauca (subcuenca Santa Eulalia)

CAPÍTULO V

PROPUESTAS DE RECARGA ARTIFICIAL

En los últimos años, la recarga artificial de acuíferos se ha constituido en una gran herramienta de gestión de recursos hídricos, ha tenido gran efectividad en el desarrollo de proyectos de alta montaña a diferencia de las grandes y costosas obras hidráulicas que se generan con las aguas superficiales, utilizando muchos recursos y cuantioso tiempo de ejecución. Resultando una actividad de primer orden en varios países del mundo.

Las técnicas de recarga artificial de acuíferos se basan en la inducción forzada (no natural) de aguas superficiales en un acuífero (puede ser aguas de lagos, lagunas, ríos u otra fuente, incluso también de la precipitación pluvial), para incrementar la disponibilidad del agua en el acuífero y en ocasiones mejorar su calidad.

Las técnicas de recarga artificial, se puede practicar en cualquier tipo de formación geológica que sea permeable y que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua subterránea. En el territorio peruano se han desarrollado algunas prácticas de recarga de acuíferos en lugares puntuales: las amunas (Lima, Santiago de Tuna, cuenca del río Lurín) y zanjas de infiltración en acuíferos fisurados de alta montaña (Cusco, para recargar el acuífero fisurado Kayra, la misma que es explotado por la galería filtrante de Salkantay); la inducción de aguas subterráneas mediante balsas en acuíferos porosos no consolidados de piso de valle (Uyujaya-Samaca, Ica), la reforestación con plantas nativas y exóticas (Granja Porcon, Cajamarca), entre otros.

Actualmente las técnicas de recarga se han convertido en una herramienta utilizada por muchas instituciones públicas y privadas para incrementar la disponibilidad hídrica y mejorar la gestión de los recursos hídricos de nuestro territorio.

Para proponer un sistema de recarga artificial de acuíferos es importante conocer las características morfológicas e hidrogeológicas de los materiales a recargar, conocer sus parámetros hidrogeológicos, que nos permitirá realizar diseños adecuados de las técnicas de recarga.

En el presente informe, planteamos diseños técnicos adecuados, en base al diagnóstico hidrogeológico de los sectores, considerando los ensayos de infiltración, la descripción del componente litológico de las formaciones geológicas, la morfología de la zona y la ubicación de fuentes de recarga. Los diseños de recarga artificial de acuíferos se ubican en la parte alta de la sub cuenca del río Santa Eulalia, en sectores aledaños a los centros poblados de Callahuanca-Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla, las mismas que nos permitieron realizar 2 diseños de recarga con las siguientes técnicas:

1. Recarga artificial por medio de zanjas de infiltración
2. Recarga artificial por Amunas o canales de infiltración

Las zanjas de infiltración son estructuras de retención de aguas de lluvia que reducen significativamente la erosión de laderas y aumentan la infiltración natural del agua retenida. Las amunas o canales de infiltración suelen ejecutarse para

distribuir el agua a través de conductos, por las zonas más permeables hasta una balsa de recarga (especie de reservorio rústico).

Para ubicar zanjas de infiltración es necesario que exista una capa superficial de material no consolidado (suelo) que permita su emplazamiento y distribución, experimentalmente en este informe sugerimos que se tracen también zanjas de infiltración en los afloramientos rocosos, porque (según las pruebas de campo) tienen mayor conductividad hidráulica que los suelos y por ende mayor capacidad de infiltración. Para el caso de amunas o canales de infiltración, se debe trazar preferentemente sobre afloramientos rocosos y en menor proporción sobre suelos (dado que la profundidad del canal es más corta)

5.1 Recarga artificial mediante zanjas de infiltración

Anteriormente, las zanjas de infiltración se diseñaron para mejorar los suelos, controlar la erosión y generar humedad local en las coberturas semiáridas. Sin embargo; cuando las zanjas se diseñan sobre materiales permeables generan importantes caudales de recarga que hoy en día es usada como una de las técnicas más eficientes de recarga artificial de acuíferos, sobre todo en rocas fracturadas de alta montaña, sin perder su función de controlar la erosión laminar o en surcos.

Las zanjas de infiltración deben responder a la cantidad de agua de lluvia que cae a la zona a ser recargada, la cual debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe la zanja, en un diferencial de tiempo. Es decir, la capacidad de escorrentía e infiltración no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan.

De acuerdo a las propiedades hidrogeológicas y la ubicación de la fuente de recarga se plantea las zanjas de infiltración en los dos (2) sectores: Callahuanca-Chauca y Chaclla porque está marcada por un régimen estacional de lluvias como única fuente de recarga, el promedio de precipitación en la zona propuesta para la recarga, varía entre 200 mm y 300 mm, en promedio anual (ANA 2010).

Para San Pedro de Casta se ubica una quebrada aledaña como fuente de alimentación para la recarga, por lo tanto los diseños de recarga obedecen a amunas o canales de infiltración.

Callahuanca-Chauca

Desde el punto de vista hidrogeológico y la clasificación de la conductividad hidráulica, ambos sectores se ubican sobre rocas volcánicas (flujos de lava y tobas) y suelos limo arcillosos a limo arenosos. Por lo tanto; para una recarga eficiente, que pueda atravesar el componente litológico semipermeable requiere que las zanjas sean más profundas de lo normal (gráficos 4 y 5).

La zona de recarga se ubica al noreste de Callahuanca, en la parte alta del centro poblado de Chauca, en la margen derecha de la quebrada Recracancha (figura 3) y se pretende recargar el caudal de los manantiales Patay (1375544-188) y Sicacancha (1375544-189), las mismas que se utilizan para el consumo humano y riego de Chauca, y que en época de estío reduce su caudal considerablemente.

Para la parte alta de Callahuanca-Chauca se plantea la recarga artificial por medio de zanjas de infiltración sobre rocas volcánicas de la Formación Millotingo, los mismos que tienen permeabilidad entre 2.758×10^{-1} m/día y 1.471×10 m/día,

entre tobas y suelos limo arenosos, lo cual favorece a un particular régimen de recarga.

La fuente de alimentación para la recarga corresponde solamente a la precipitación pluvial, por lo tanto; el funcionamiento efectivo de la recarga estaría limitada para alimentar y recargar en épocas de lluvia e incrementar la descarga en épocas de estío.

Chaclla

La zona de recarga se ubica al norte del centro poblado de Chaclla, desde donde se origina la quebrada de Rengo. En este sector la geología corresponde a rocas volcánicas (en su mayoría tobas y esporádicos flujos de lava) y suelos formados por erosión e intemperismo consistente en arcillas limosas, sobre todo en la parte central de la quebrada (eje) y donde ya existe zanjas de infiltración antiguas para evitar la erosión de suelos. El componente arcilloso del eje de quebrada es potente, por lo tanto impermeable, por lo cual recomendamos que las zanjas de infiltración se tracen en los flancos de la quebrada, donde aflora el componente rocoso con mejores características para la infiltración.

Al igual que en Callahuanca-Chauca, en Chaclla la fuente de alimentación para la recarga artificial es de la precipitación pluvial, por lo tanto; en ambas zonas el funcionamiento efectivo de la recarga estaría limitada para alimentar en épocas de lluvia e incrementar la descargar en épocas de estío.

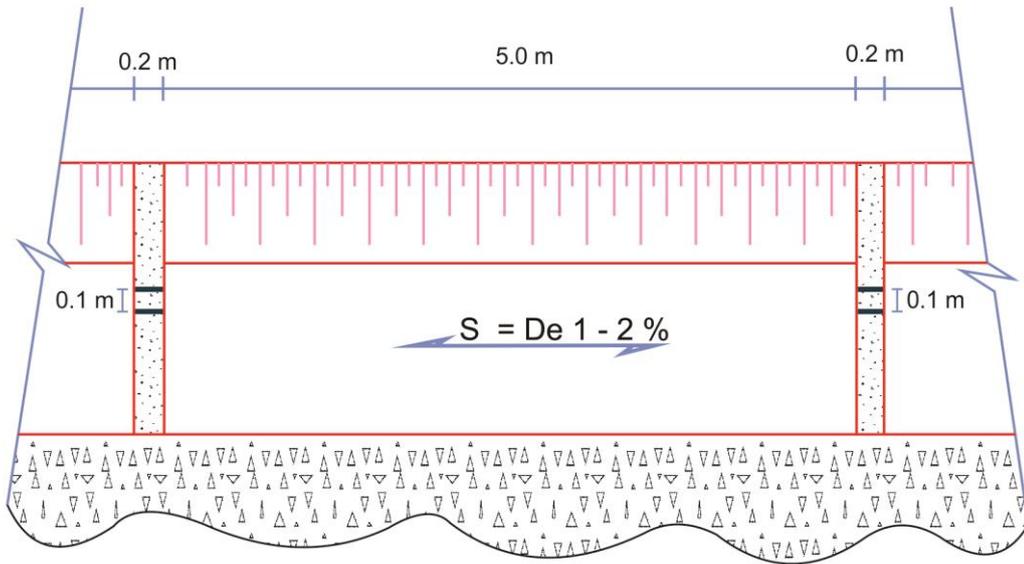
Diseño de Zanjas de Infiltración Callahuanca–Chauca y Chaclla

Las zanjas de infiltración para Callahuanca-Chauca y Chaclla deben ejecutarse según el diseño propuesto (gráfico 6 y 7), la misma que consiste en la perforación de una franja abierta en la superficie (suelo y roca), con sección longitudinal, forma trapezoidal y pequeño ancho, donde se acumula el agua de lluvia, que va a infiltrar en el subsuelo. Las zanjas de infiltración deben ser transversales a la máxima pendiente del terreno, deben tener una pendiente de 1% (hasta 2 % adecuándose a la topografía del terreno). En el sector de Callahuanca–Chauca las zanjas deben tener una dirección preferencial de oeste a este terminando y/o atravesando el eje del sinclinal (grafico 4 y 5), estructura que facilitara la recarga, por su presencia de mayor contenido de fracturas en las rocas volcánicas (tobas y flujos de lava).

Como la fuente de alimentación corresponde a la lluvia, las zanjas deben ser paralelas con separación de espacios entre 10 m a 13 m entre ellas. La relación de distancias o cualquier corrección al momento de la ejecución debe ser corregida en función de la pendiente del terreno. Asimismo; si se atraviesa sectores con mayor permeabilidad (afloramiento de roca fracturada) se pueden variar las dimensiones, ampliando la base, el ancho y la profundidad de la zanja, pero manteniendo el principio de igualdad de volúmenes de agua e interconexión entre las zanjas.

El material extraído de la zanja debe depositarse en la parte inferior de la zanja, formando un pequeño montículo. Se debe depositar el material movido a unos 20 cm de distancia, para que la tierra no retorne a la zanja con la primera lluvia.

Diseño de la zanja de infiltración



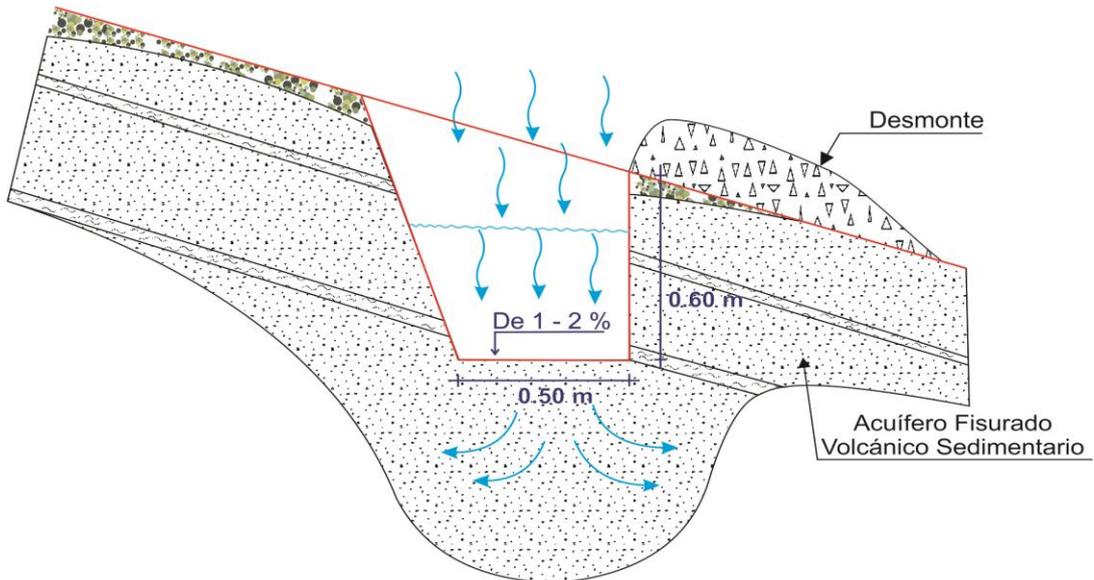
Vista en Planta

Distancia entre zanjas	10.00 - 13.00 m
------------------------	-----------------

Gráfico 4 Diseño en planta de una zanja de infiltración, nótese la longitud de zanja recomendada para el sector de Callahuanca-Chaclla de 5 metros.

Diseño de la zanja de infiltración

H = 0.60 m.



Sección Transversal

Gráfico 5. Sección transversal de una zanja de infiltración, nótese la profundidad, ancho y pendiente para una zanja de recarga artificial recomendada para Callahuanca-Chaclla.

En el espacio lateral que existe, entre una zanja y otra, debe excavarse un paso o canaleta hasta una apertura de 10 cm. Esto es importante porque permitirá que el agua de una zanja llena, pueda pasar a otra zanja, llenando así todas las zanjas por igual y controlando la erosión y caída de los muros de las zanjas.

Las zanjas de infiltración diseñadas para Callahuanca-Chauca deben tener una profundidad de 0.60 m de altura y 0.50 m de base, su longitud ideal debe ser los 5 m (gráfico 4).

El diseño considera además un rebaje en el borde, aguas arriba, para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes (gráfico 4).

Las zanjas son estructuras excavadas en el terreno, con una morfología lineal. Pueden ubicarse siguiendo las curvas de nivel lo cual además de aumentar la infiltración también reduce los procesos de erosión.

Mantenimiento anual de Zanjas de infiltración

Uno de los principales inconvenientes que presentan las zanjas de infiltración es la reducción de la capacidad de infiltración debido a los fenómenos de colmatación que tienen lugar en el fondo de las zanjas y canales. Estos procesos se dan por arrastre de materiales finos en la época de lluvias y arrastre de materiales finos y gruesos en la época de estío.

Para que la infiltración sea eficiente se recomienda una limpieza anual de zanjas, es decir, para mejorar y mantener la eficiencia en la recarga se debe hacer limpieza de zanjas antes que comience la época de lluvias (entre setiembre y octubre de todos los años), de tal manera que las primeras lluvias sean retenidas en las zanjas y generen importantes caudales de infiltración.

5.2 Recarga artificial mediante amunas o canales de infiltración

Se llama "Amunas" que viene del vocablo quechua "retener" que consiste en recolectar el agua, en las alturas, filtrarlas en las rocas a través de acequias amunadoras y recogerlas meses después mediante manantiales.

San Pedro de Casta

La zona de recarga se ubica al este del centro poblado de San Pedro de Casta, en la margen izquierda de la quebrada Chanicota en este sector la geología corresponde a rocas volcánicas de la Formación Millotingo, sin embargo el diseño de las amunas o canales de infiltración llegan también hasta el Grupo Rímac (en su mayoría flujos de lava, tobas y derrames), además de suelos como detritos y materiales sueltos de caída formados por principalmente por erosión.

En este sector una quebrada aledaña afluente de la quebrada Chanicota, es la fuente de aguas superficiales que aportaría agua para la recarga, por lo tanto el diseño de recarga se plantea como amunas o canales de infiltración. Las mismas que recargarían en época de lluvias y descargan en épocas de estío, reteniendo e incrementando la disponibilidad de aguas en la quebrada Chanicota.

Diseño de Amunas o Canales de infiltración

Las amunas o canales de infiltración para San Pedro de Casta deben ejecutarse según el diseño propuesto (gráfico 6 y 7), la misma que consiste en la perforación de una franja abierta en la superficie (suelo y roca), con sección longitudinal, forma trapezoidal y pequeño ancho (0.5 m), por donde debe discurrir el agua

superficial proveniente de la quebrada tributaria Chanicota (figura 4), la misma que a través de su paso va a infiltrar en el subsuelo. Las amunas o canales de infiltración deben ser transversales a la máxima pendiente del terreno, deben tener una pendiente de 1% (hasta 2 % adecuando a la topografía del terreno).

En el sector de San Pedro de Casta, las amunas o canales de infiltración deben tener una dirección preferencial de este a oeste (figura 4), estructura que facilitara la recarga por su presencia de mayor contenido de fracturas en las rocas volcánicas (flujos de lava, tobas y derrames).

La fuente de alimentación para esta recarga artificial mediante amunas vendrá de aguas superficiales correspondiente a una de las quebradas tributarias a la quebrada Chanicota (figura 4).

Las distancias entre amunas deben ser paralelas, de mínima pendiente y adecuarse a la topografía del terreno, las correcciones al momento de la ejecución debe ser en función del paso de la zanja por afloramientos de roca volcánica fracturada. Estos afloramientos serán los que generen mayor infiltración en el subsuelo, por lo tanto al momento de la ejecución deben generarse ampliaciones de las amunas en la base, el ancho y la profundidad, que permita mayor retención de agua manteniendo el principio de igualdad de volúmenes de agua de paso en la amuna o canal.

El material extraído de la zanja debe depositarse en la parte inferior de la zanja, formando un pequeño montículo. Se debe depositar el material movido a unos 20 cm de distancia, para que la tierra no retorne a la zanja con la primera lluvia

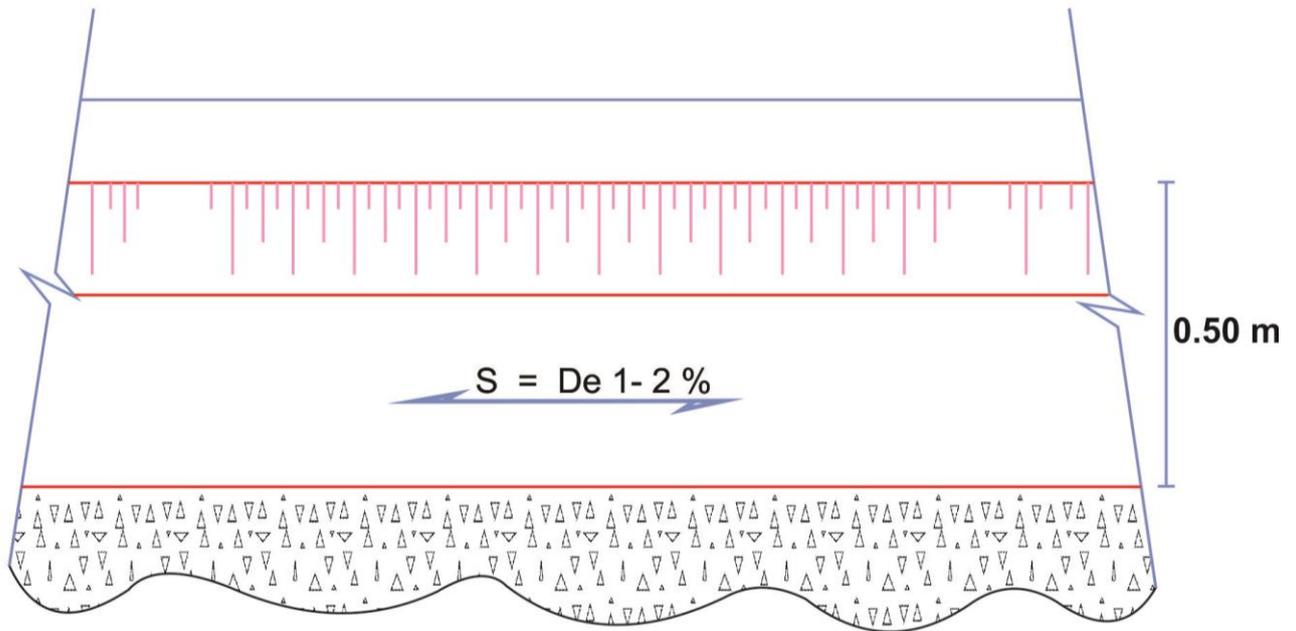
Las amunas o canales de infiltración diseñadas para San Pedro de Casta deben tener una profundidad de 0.40 m de altura y 0.50 m de base (gráfico 6 y 7), su longitud ideal debe adecuarse a la topografía del terreno, terminando en un afloramiento rocoso donde se perfore una calicata, de ancho, largo y profundidad adecuada a la presencia del material rocoso.

El diseño considera además un rebaje en el borde, aguas arriba, para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes (gráfico 6).

Las amunas al igual que las zanjas de infiltración son estructuras excavadas en el terreno, con una morfología lineal. Pueden ubicarse siguiendo las curvas de nivel lo cual además de aumentar la infiltración también reduce los procesos de erosión.

La propuesta diseñada para las amunas, en el presente estudio son más profundas de lo normal (0.4 m), las cuales obedece a los siguientes criterios:

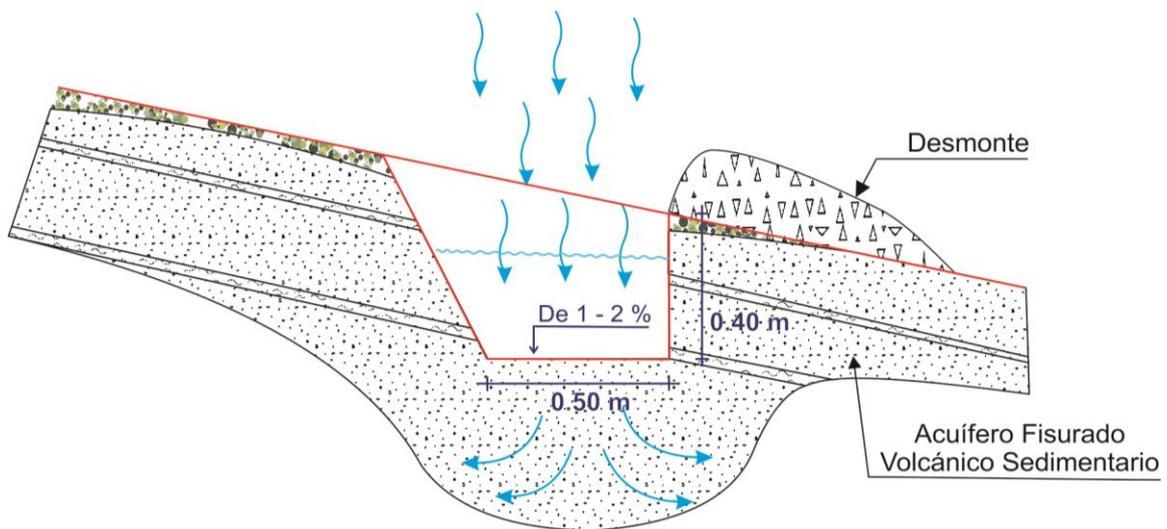
- Existe mucho material no consolidado de caída y flujo de detritos, los cuales pueden generar colmataciones rápidas de las amunas
- El espacio para el trazado de las amunas es relativamente corto, por lo tanto deben terminar en una perforación o reservorio de infiltración.
- El material de matriz es semipermeable, los valores de infiltración son algo permeables a permeables, por lo tanto para optimizar la infiltración, las amunas deben tener 0.4 m de profundidad.



Vista en Planta

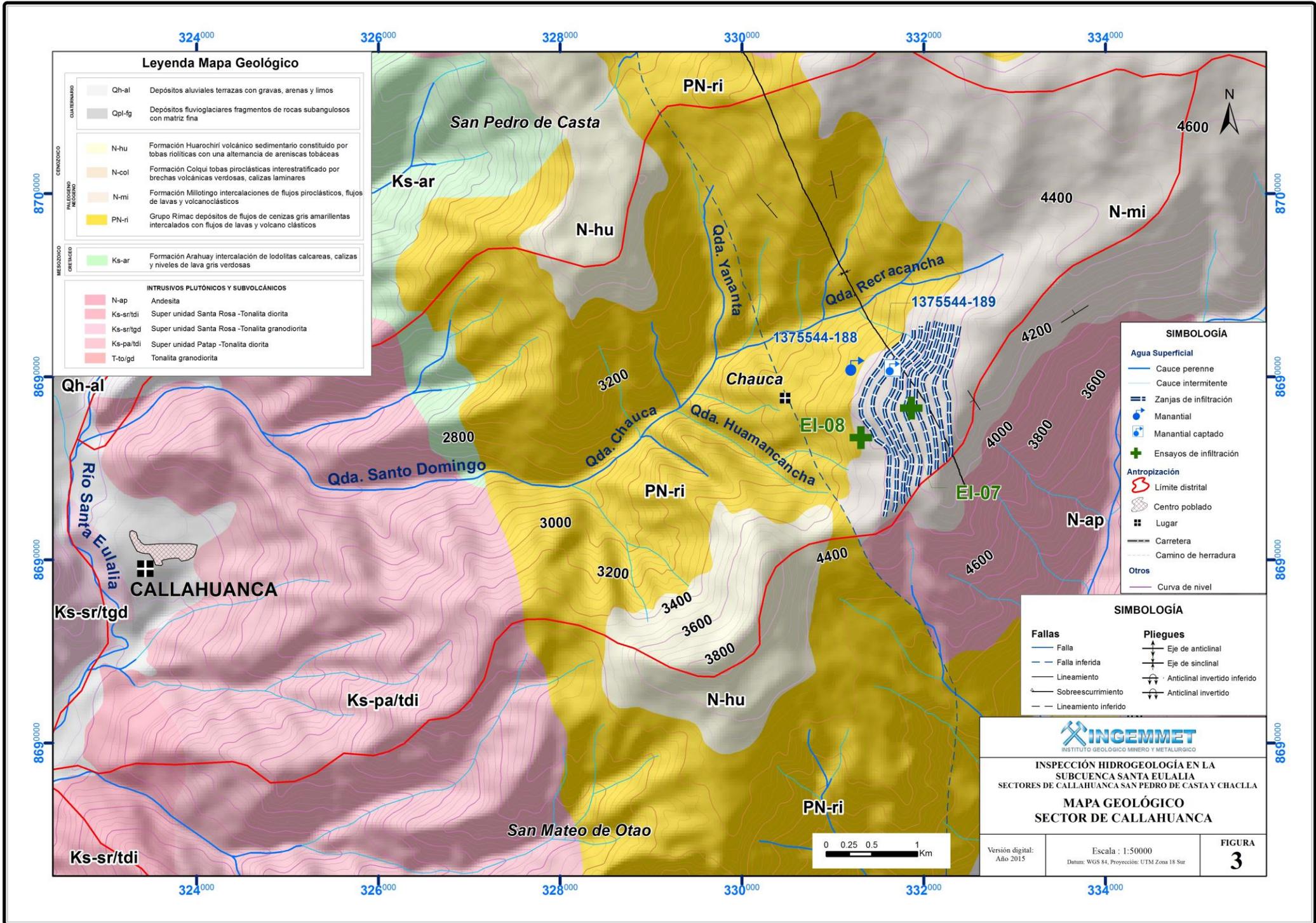
Gráfico 6 Diseño en planta de una zanja de infiltración, nótese la longitud de zanja recomendada para el sector de Callahuanca-Chaclla de 5 metros de Longitud.

H = 0.40 m.



Sección Transversal

Gráfico 7 Diseño en planta de una zanja de infiltración, nótese la longitud de zanja recomendada para el sector de Callahuanca-Chaclla de 5 metros.



Legenda Mapa Geológico

CUATERNARIO	
Qh-al	Depósitos aluviales terrazas con gravas, arenas y limos
Qpl-fg	Depósitos fluvio-glaciares fragmentos de rocas subangulosos con matriz fina
CEENOZOICO	
PALEOGENO	
N-hu	Formación Huarochiri volcánico sedimentario constituido por tobas riolíticas con una alternancia de areniscas tobáceas
N-col	Formación Colqui tobas piroclásticas interestratificadas por brechas volcánicas verdosas, calizas laminares
N-mi	Formación Millotingo intercalaciones de flujos piroclásticos, flujos de lavas y volcanoclásticos
PN-ri	Grupo Rimac depósitos de flujos de cenizas gris amarillentas intercalados con flujos de lavas y volcanos clásticos
MESÓZOICO	
CRETÁCICO	
Ks-ar	Formación Arahuary intercalación de lodolitas calcáreas, calizas y niveles de lava gris verdosas
INTRUSIVOS PLUTÓNICOS Y SUBVOLCÁNICOS	
N-ap	Andesita
Ks-sr/tdi	Super unidad Santa Rosa -Tonalita diorita
Ks-sr/tgd	Super unidad Santa Rosa -Tonalita granodiorita
Ks-pa/tdi	Super unidad Patap -Tonalita diorita
T-to/gd	Tonalita granodiorita

SIMBOLOGÍA

Agua Superficial	
	Cauce perenne
	Cauce intermitente
	Zanjas de infiltración
	Manantial
	Manantial captado
	Ensayos de infiltración
Antropización	
	Límite distrital
	Centro poblado
	Lugar
	Carretera
	Camino de herradura
Otros	
	Curva de nivel

SIMBOLOGÍA	
	Falla
	Falla inferida
	Lineamiento
	Sobrescurrimiento
	Lineamiento inferido
	Eje de anticlinal
	Eje de sinclinal
	Anticlinal invertido inferido
	Anticlinal invertido

INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

INSPECCIÓN HIDROGEOLOGÍA EN LA SUBCUENCA SANTA EULALIA SECTORES DE CALLAHUANCA SAN PEDRO DE CASTA Y CHACLA

MAPA GEOLÓGICO SECTOR DE CALLAHUANCA

Versión digital: Año 2015

Escala : 1:50000
 Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur

FIGURA 3



CALLAHUANCA

San Pedro de Casta

San Mateo de Otao

Chauca

N-mi

N-ap

PN-ri

N-hu

PN-ri

Ks-pa/tdi

Ks-sr/tgd

Ks-sr/tdi

Ks-ar

N-hu

PN-ri

Qda. Recracancha

Qda. HuamancanCHA

Qda. Chauca

Qda. Santo Domingo

Rio Santa Eulalia

1375544-189

1375544-188

EI-08

EI-07

4600

4400

4200

4000

4600

4400

4600

3200

3000

3200

3400

3600

3800

324⁰⁰⁰

326⁰⁰⁰

328⁰⁰⁰

330⁰⁰⁰

332⁰⁰⁰

334⁰⁰⁰

870⁰⁰⁰⁰

869⁰⁰⁰⁰

869⁰⁰⁰⁰

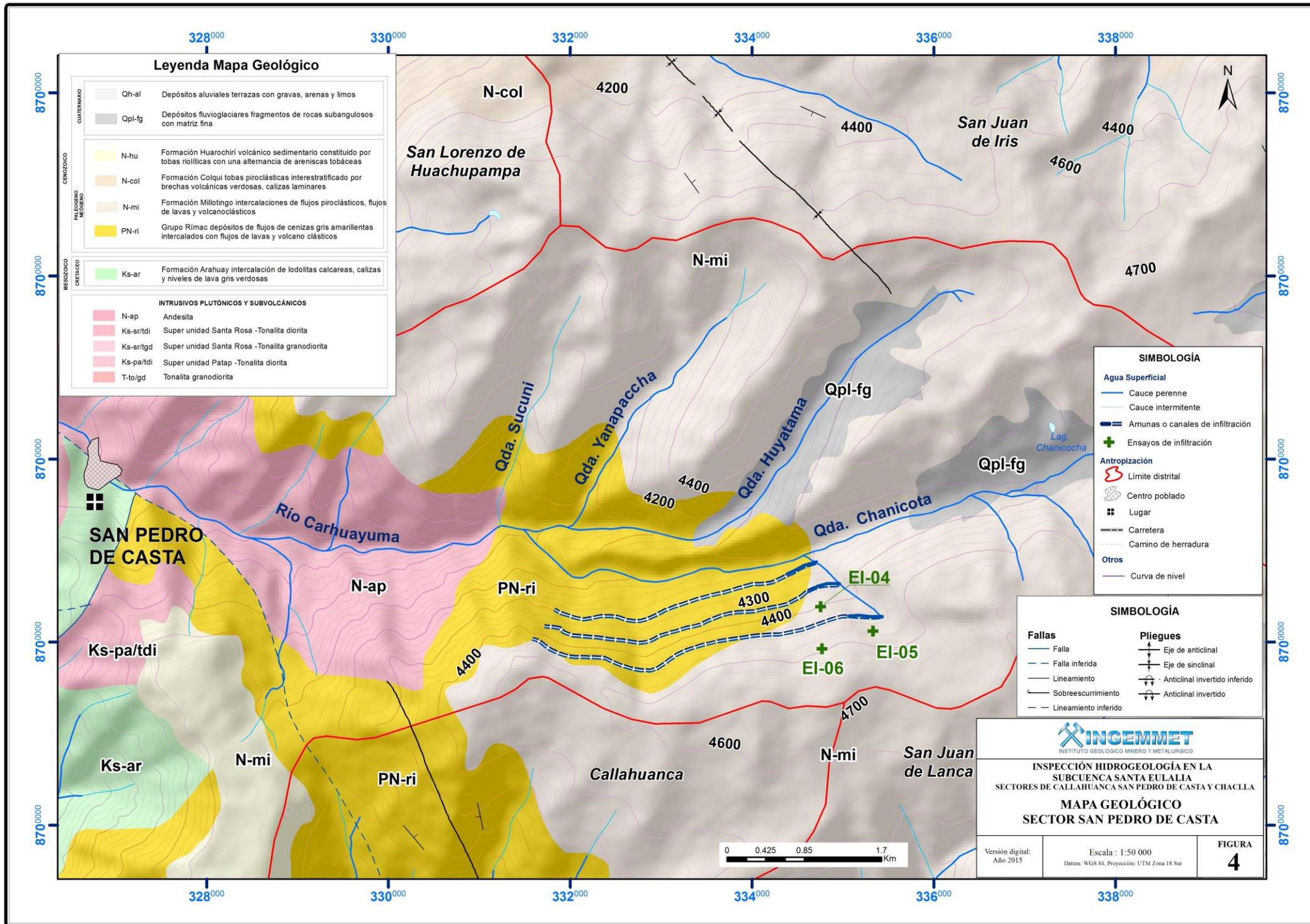
869⁰⁰⁰⁰

870⁰⁰⁰⁰

869⁰⁰⁰⁰

869⁰⁰⁰⁰

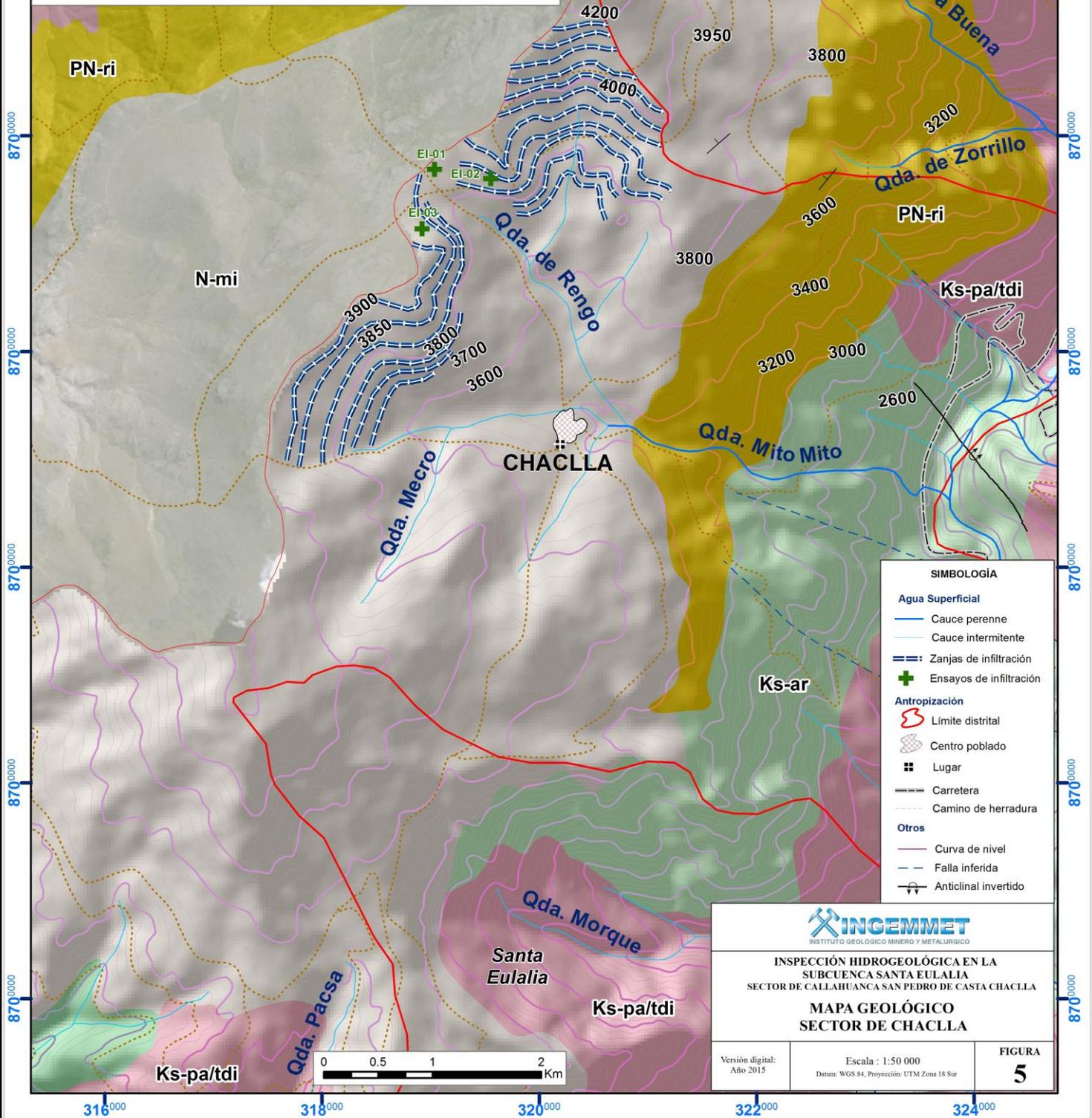
869⁰⁰⁰⁰



316⁰⁰⁰318⁰⁰⁰320⁰⁰⁰322⁰⁰⁰324⁰⁰⁰

Leyenda Mapa Geológico

CUATERNARIO	
Qh-al	Depósitos aluviales terrazas con gravas, arenas y limos
Qpl-fg	Depósitos fluvio-glaciares fragmentos de rocas subangulosos con matriz fina
CENOZOICO	
PALEOCENO	
N-hu	Formación Huarochiri volcánico sedimentario constituido por tobas riolíticas con una alternancia de areniscas tobáceas
N-col	Formación Colqui tobas piroclásticas interestratificado por brechas volcánicas verdosas, calizas laminares
NEOGENO	
N-mi	Formación Millotingo intercalaciones de flujos piroclásticos, flujos de lavas y volcanoclásticos
PN-ri	Grupo Rimac depósitos de cenizas gris amarillentas intercalados con flujos de lavas y volcano clásticos
MESOZOICO	
CRETACEO	
Ks-ar	Formación Arahuay intercalación de lodolitas calcareas, calizas y niveles de lava gris verdosas
INTRUSIVOS PLUTÓNICOS Y SUBVOLCÁNICOS	
N-ap	Andesita
Ks-sr/tdi	Super unidad Santa Rosa -Tonalita diorita
Ks-sr/tgd	Super unidad Santa Rosa -Tonalita granodiorita
Ks-pa/tdi	Super unidad Patap -Tonalita diorita
T-to/gd	Tonalita granodiorita



INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

INSPECCIÓN HIDROGEOLOGICA EN LA
SUBCUENCA SANTA EULALIA
SECTOR DE CALLAHUANCA SAN PEDRO DE CASTA CHACLLA

MAPA GEOLÓGICO
SECTOR DE CHACLLA

Versión digital:
Año 2015

Escala : 1:50 000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur

FIGURA
5

CONCLUSIONES:

1. Los sectores seleccionados para la recarga artificial de acuíferos se ubican aledañas a los centros poblados de Callahuanca-Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla, tienen un relieve montañoso, con laderas de mediana a alta pendiente, corresponden a los flancos de un valle joven erosionado en forma de V (río de la sub cuenca Santa Eulalia) y desarrollado sobre rocas volcánicas que dominan gran parte del paisaje de la región.
2. La recarga artificial de acuíferos se plantea sobre rocas volcánicas como el basamento principal, las mismas que, se encuentran relativamente deformadas, fracturadas y falladas. En sectores se observa afloramientos de rocas intrusivas y volcánicas (intercaladas) medianamente fracturadas. La parte del afloramiento rocoso en algunos sectores se observa cubierto por depósitos no consolidados del cuaternario. Sobre ambos materiales se han diseñado dos técnicas de recarga artificial de acuíferos.
3. Los valores de conductividad hidráulica o permeabilidad se ha medido a través de una infiltración puntual en las zonas de recarga. Se realizaron ocho (8) ensayos de infiltración utilizando el método de Lefranc a carga constante, 2 en Callahuanca-Chauca, 3 en San Pedro de Casta y 3 en Chaclla, cuyos resultados comparados con la tabla convencional de permeabilidades (Benítez, 1963 y Custodio, 1996 - cuadro 2), nos permitió obtener una correspondencia hidrogeológica a través de la conductividad hidráulica. Los materiales de la zona tienen clasificación hidrogeológica de permeable y algo permeable correspondiente a acuíferos pobres.
4. La unidad hidrogeológica permeable de las tres áreas, lo constituye las rocas volcánicas fracturadas, sin embargo; los suelos producto del material alterado y meteorizado son semipermeables, posiblemente por la alteración de la plagioclasa a arcillas.
5. En el presente reporte, planteamos diseños técnicos adecuados de recarga artificial de acuíferos, basados en el diagnóstico hidrogeológico de los tres sectores, principalmente la descripción del componente litológico de las formaciones geológicas, la morfología de la zona y la ubicación de fuentes de recarga. Los diseños de recarga artificial de acuíferos tienen dos técnicas: 1) Recarga artificial por medio de zanjas de infiltración y 2) Recarga artificial por Amunas o canales de infiltración, ambos tiene características semejantes, pero varían en cuanto a la profundidad y longitud de los canales.
6. Las fuentes de alimentación que se utilizaran para la recarga son las siguientes. En Callahuanca-Chauca y Chaclla, serán de la lluvia, restringidos al periodo lluvioso. En San Pedro de Casta se usaran aguas superficiales provenientes de un tributario de la quebrada Chanicota.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar las obras de recarga artificial de acuerdo al diseño planteado, tanto para zanjas de infiltración como para amunas, respetando las dimensiones y adecuando a la topografía del terreno; además de ello considerar trabajarlo antes de la época de lluvias.
2. Para tener la certeza del funcionamiento de la recarga, el presente informe debe ser complementado con un inventario detallado de fuentes de aguas subterráneas (manantiales principalmente). Sobre estas fuentes realizar un monitoreo constante del caudal y de las propiedades físico-químicas (principalmente: pH, T°, CE y TDS) con equipos portátiles. Si existe variaciones en los valores de pH y T° nos dará indicios de una posible infiltración en profundidad.
3. Para que la infiltración sea eficiente se recomienda una limpieza anual de zanjas, es decir, para mejorar y mantener la eficiencia en la recarga se debe hacer limpieza de zanjas antes que comience la época de lluvias (entre setiembre y octubre de todos los años), de tal manera que las primeras lluvias sean retenidas en las zanjas y generen importantes caudales de infiltración.

REFERENCIAS

- Ángeles, S., Rosales, L. & Ramos J. (2004) – *Características de flujos regionales, y su manifestación, tres casos en México*, Instituto de Geografía de México.
- Autoridad Nacional del Agua , ANA (2010) - Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac
- Cobbing, E.J., Sánchez, A., Martínez, W., Zárate, H. (1996) - Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. Boletín Ingemmet, Serie A: Carta Geológica Nacional, 76, 172 p.
- De la Cruz N. & Jaimes F. (2003) – Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Canta (23j). Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 21p.
- Delleur J.W. (1999) – *The Handbook of groundwater engineering*. CRC Press. 945 p.
- García Romero E. (2004) – Génesis de arcillas magnéticas en la cuenca de Madrid: Interrogantes planteados. En boletín Geológico y Minero de España Pp 629-640.
- J. Lillo (2008) – Presentación sobre métodos de exploración hidrogeológica regional, en Universidad rey Juan Carlos Madrid – España. 140 diapositivas.
- Jaillard, E. (1986) - La sédimentation crétacée dans les Andes du Pérou central: exemple de la Formation Jamasha (Albien moyen-supérieur à Turonien supérieur) dans la région d'Oyón (departamento de Lima). *Geodynamique* 1(2), 97 – 108 p.
- Jaillard, E., Arnaud-Vanneau, A. (1993) - The Cenomanian-Turonian transition on the Peruvian margin. *Cretaceous Research*, 14, 585 - 605
- Mégard, F. (1984) - The Andean orogenic period and its major structures in central northern Peru. *Journal of the Geological Society London*, 141 (5), 893 – 900
- Navarro, P., Chavez, L., Pajuelo, D., Ordoñez, E. (en preparación) - Geología del Grupo Calipuy: Campo Volcánico Cordillera Negra, Norte del Perú. INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Regionales.
- Palacios O.; Caldas J. & Vela Ch. (1992) – Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. INGEMMET, Boletín N° 43, Serie A: Carta Geológica Nacional, 137 p.
- Peña, F. (2001) – Estudio Hidrogeológico del Acuífero Poroso No consolidado entre Saylla y Choquepata, Tesis de Ingeniero Geólogo de la Universidad San Antonio Abad del Cusco. 141 p.
- Peña, F., Benavente, C. & Ng W. (2011) - Informe Técnico de la Interpretación hidrogeológica de la surgencia de limo blanquecino y fuentes termales en la quebrada Chichahuaycco – Apurímac.
- Peña, F., Carpio, J. & Vargas, V. (2010) – Hidrogeología de la cuenca de los ríos Jequetepeque y Chamán. En Instituto geológico Minero y metalúrgico, Boletín N° 4, serie H (inédito).
- Peña, F., Sánchez, M. & Pari, W. (2010) – Hidrogeología de la cuenca del río Ica. En Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín N° 3, serie H.
- Pradeep K.; Joel R. Gat; & KLAUS F.O. (2005) – *Isotopes in the water cycle*. Springer, 373 p.
- Pulido, J. (1978) - *Hidrogeología Práctica*. Bilbao: URMO, 314 p.

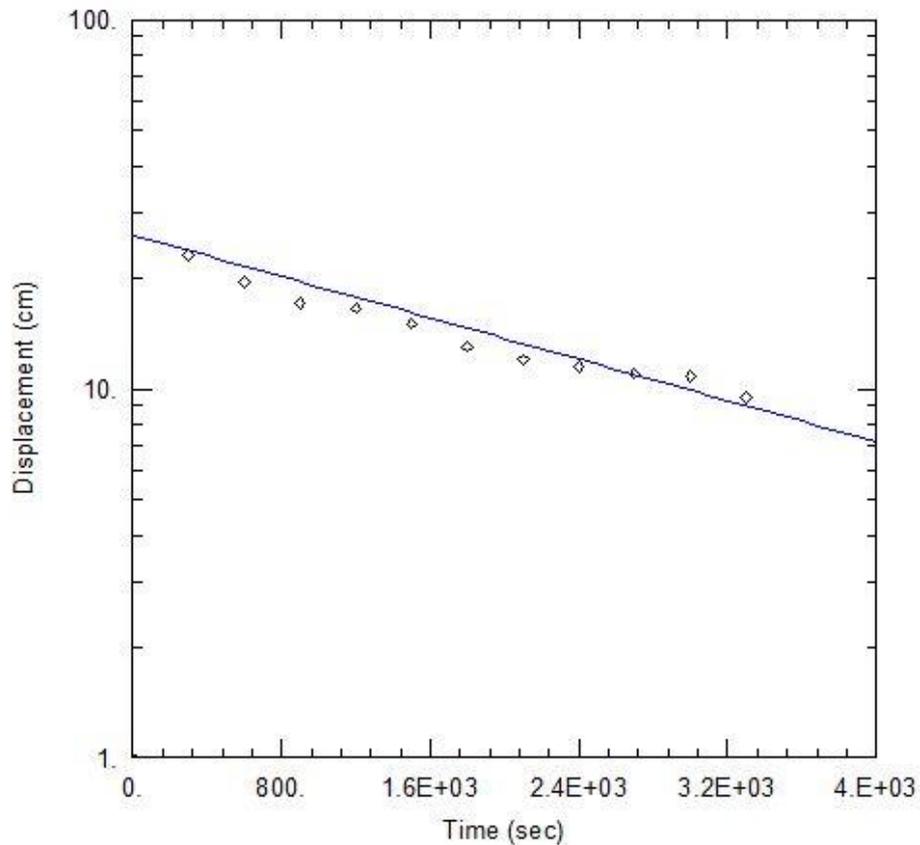
- Rainbow Amelia (2009) - Genesis and Evolution of the Pierina high-Sulphidation Epithermal Au-Ag Deposit, Ancash, Peru. A thesis submitted to the Department of Geological Sciences and Geological Engineering In conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.
- Romani, M. (1983)-Pulsaciones magmáticas en la Cordillera Occidental entre 10°30' y 10°50' mineralogía, petrología y geoquímica. Boletín Sociedad Geológica del Perú 72, 323–337 p.
- Salazar H. (1983) – Geología de los cuadrángulos de Matucana y Huarochirí. INGEMMET, Boletín N° 36, Serie A: Carta Geológica Nacional, 71p.
- Struckmeier, W.F. & Margat, J. (1995) - Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. Hannover: International Association of Hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology, 17, 193 p.
- Torrente, A., et al., - *Condiciones hidrofísicas de suelos con alta saturación de magnesio*, 9 p.
- Uribe, E., Zapana, E. (2012) - Avances en la reinterpretación geológica y sus implicancias en la determinación de “targets” de exploración, distrito minero Raura. XVI Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú, Resúmenes Extendidos, 9 p.
- Vilanova E.; Mas-Pla J. & Menció A. (2008)-*Determinación de sistemas de flujo regionales y locales en las depresiones tectónicas del Baix Emporada y la Selva (NE de España) en base a datos hidroquímicos e isotópicos*. Boletín Geológico y Minero, 119 (1), p. 51-62
- William J. Deutsch (1997) – *Groundwater geochemistry: fundamentals and applications to contamination*, New York, Lewis Publishers 221 p.

ANEXOS:

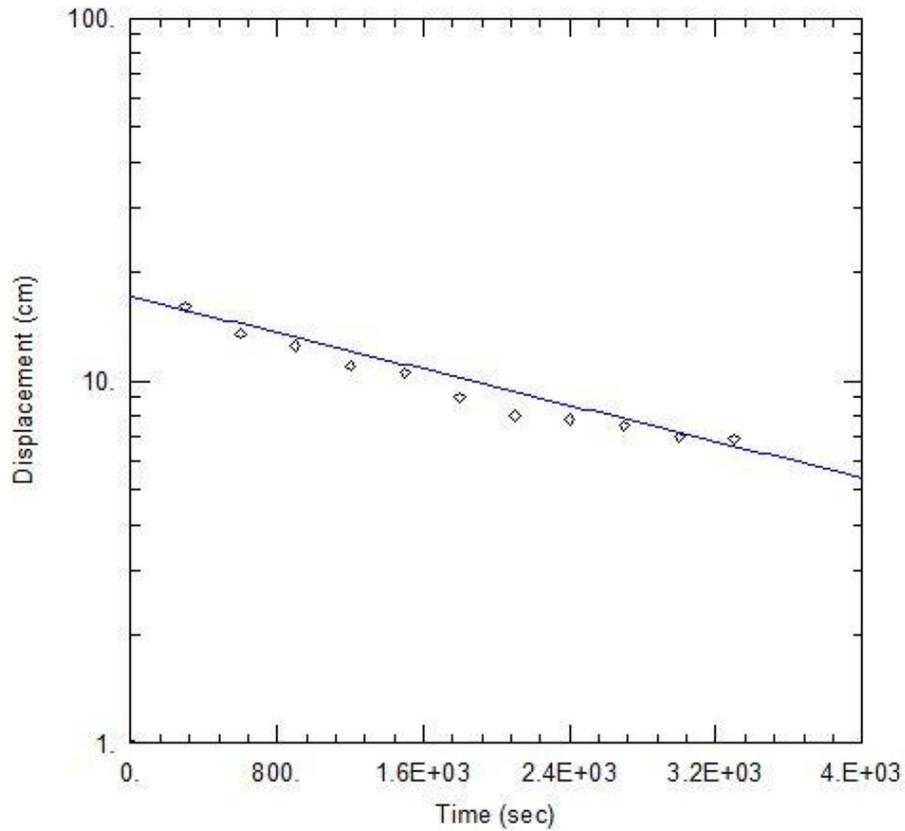
- Anexo I: Fichas de inventario de fuentes de aguas subterráneas
- Anexo I: Cálculos de la conductividad hidráulica en las tres zonas de recarga
- Anexo II: Resultado de análisis de Aguas INGEMMET

	FORMATO		Código : DGAR-F-141
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA		Versión : 00
Aprobado por : DGAR			
			Fecha aprob. : 01 ABR. 2009
			Página : 1 de 1
Código:	1375544-188	Nombre:	Patay
UBICACIÓN			
Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Patay	Longitud:	331203
Distrito:	Callahuanca	Latitud:	8699079
Provincia:	Huarochiri	Altitud:	3751
Departamento:	Lima	Datum: WGS - 84	Zona 18S
REGISTRO DE CAMPO			
Tipo de fuente	T° Agua (C°):	12.00	Descripción del entorno
Manantial	T° Ambiente (C°):	13.80	Geología
	pH:	7.65	Intrusivo
N.P (m)	Oxígeno Disuelto:	101.80	Volcánico
Superficial	C. Eléctrica (µS/cm):	109.50	Metamórfico
Vertiente	TDS (mg/l):	54.16	Sedimentario
	Color:	Incoloro	Dep. Superficial
Pacífico	Olor:	Inodoro	Geomorfología
Cuenca hidrográfica	Sabor:	Insípido	Morfología
Cuenca Rímac	Caudal (l/s):	1.20	Pendiente
	Uso:	Consumo Humano	40
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano
Santa Eulalia	X	Químico	Rural
			Otro:
Foto:	Croquis de Ubicación		
			
Observaciones:	Detalle		
Presenta Salinidad de 0.102 psu , resistividad de 9.132 Kohm/cm , RDO de 6.67 mg/l. Presencia de material morrénico con clastos de roca volcánica matriz areno limosa. Manantial surgente en la parte baja de un material morrénico de clastos de rocas volcánicas (andesitas), sueltas en una matriz arenolimosa tipo de surgencia por erosión interna de la matriz.			
	Referentes Geográficos		
Inventariado por:	F. Peña , M. Charca , E. Condori	Fecha:	10/02/2015
		Hora :	13:30

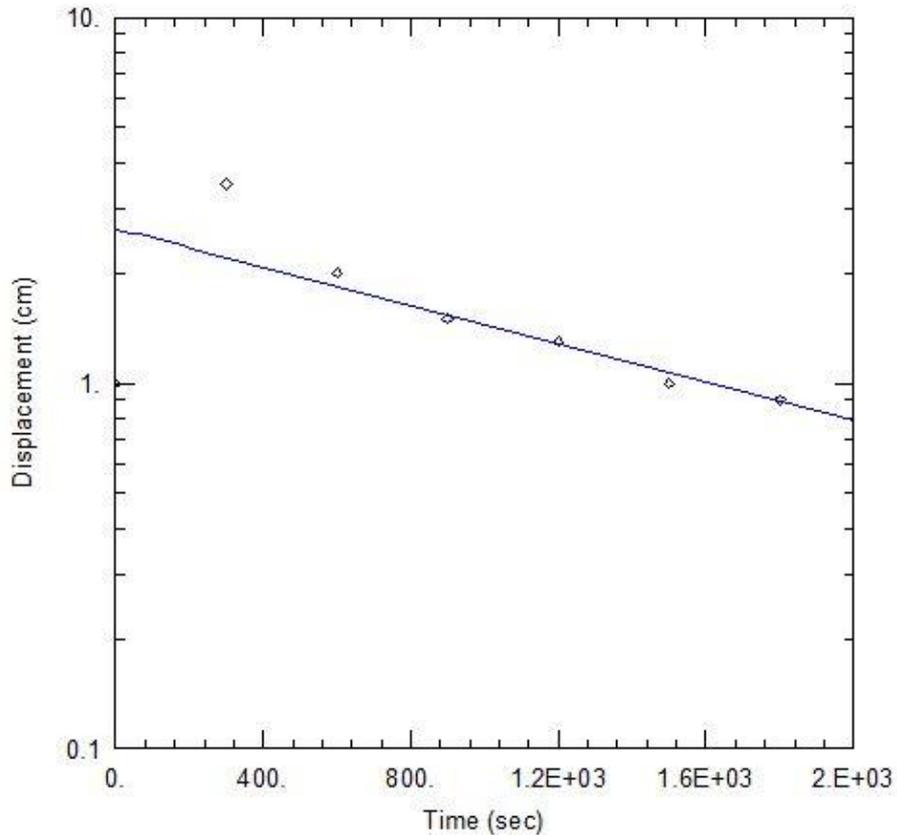
	FORMATO		Código : DGAR-F-141
	FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA		Versión : 00
Aprobado por : DGAR			
		Fecha aprob. : 01 ABR. 2009	
		Página : 1 de 1	
Código:	1375544-189	Nombre:	Sicacancha
UBICACIÓN			
Ubicación Política		Coordenadas (UTM)	
Lugar:	Chauca	Longitud:	331628
Distrito:	Callahuanca	Latitud:	8694063
Provincia:	Huarochari	Altitud:	3933
Departamento:	Lima	Datum: WGS - 84	Zona 18S
REGISTRO DE CAMPO			
Tipo de fuente	Tº Agua (C°):	11.20	Descripción del entorno
Manantial Captado	Tº Ambiente (C°):		Geología
	pH:	7.62	Intrusivo -
N.P (m)	Oxígeno Disuelto:	97.00	Volcánico X
	C. Eléctrica (µS/cm):	94.42	Metamórfico -
Vertiente	TDS (mg/l):	46.77	Sedimentario -
	Color:	Incoloro	Dep. Superficial X
Pacífico	Olor:	Inodoro	Geomorfología
	Sabor:	Insípido	Morfología Ladera
Cuenca hidrográfica	Caudal (l/s):	0.60	Pendiente 40
	Uso:	Consumo Humano , Ganadería	Uso del Terreno
Subcuenca	Parámetros	Muestreo	Urbano
			Rural X
Santa Eulalia	X	Químico	Otro:
Foto:	Croquis de Ubicación		
			
Observaciones:	Detalle		
<p>Salinidad de 0.094 psu , resistividad de 10.59 Kohm/cm , RDO de 6.67 mg/l . Surgencia presente en rocas volcánicas andesíticas sueltas en fragmentos de diámetro de 30 cm y matriz areno limosa no se observa un basamento o afloramiento rocoso pero se calcula que debe haber roca a menos de 5m. El manantial se capta para abastecer los bebederos de animales y el consumo humano.</p>			
Referentes Geográficos			
Inventariado por:	F. Peña , M. Charca , E. Condori	Fecha:	10/02/2015 Hora : 14:27



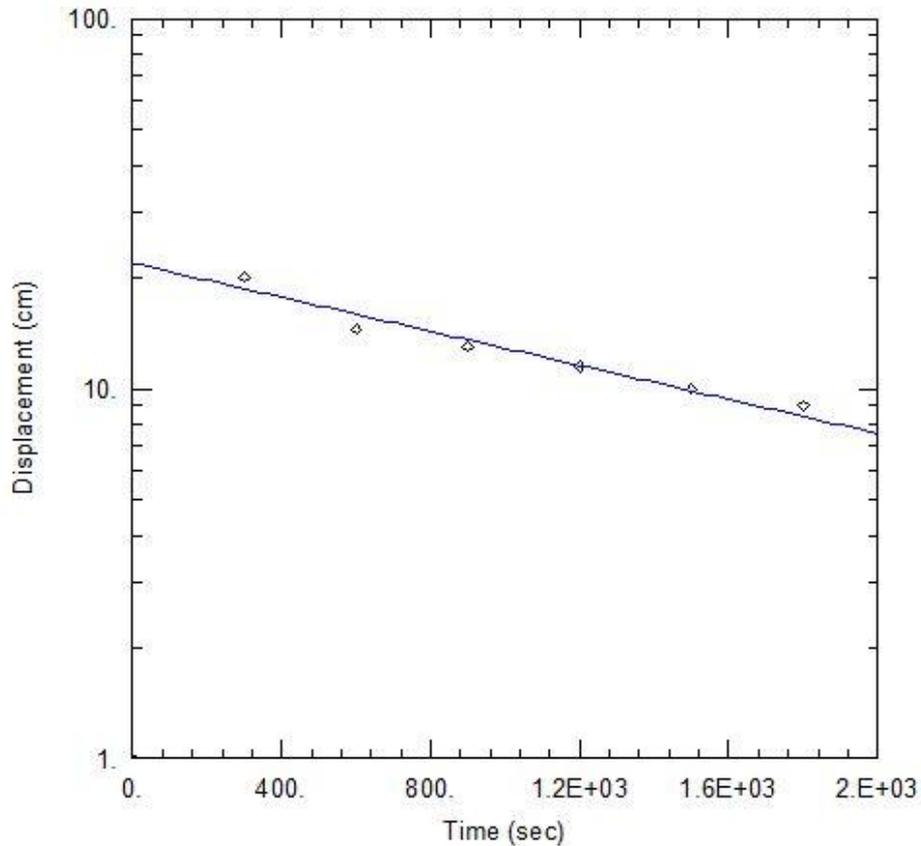
<u>EVALUACION HIDROGEOLOGICA DE SANTA EULALIA</u>	
Data Set: I:\SANTA EULALIA\Santa Eulalia 6.aqt	Time: 11:07:28
Date: 04/22/15	
<u>PROJECT INFORMATION</u>	
Company: <u>INGEMMET</u>	
Client: <u>INGEMMET</u>	
Project: <u>GA-42</u>	
Location: <u>Santa Eulalia - Rímac</u>	
Test Well: <u>EI-01</u>	
Test Date: <u>12/02/2015</u>	
<u>AQUIFER DATA</u>	
Saturated Thickness: <u>60</u> cm	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1</u>
<u>WELL DATA (EI-01)</u>	
Initial Displacement: <u>1</u> cm	Static Water Column Height: <u>60</u> cm
Total Well Penetration Depth: <u>1</u> cm	Screen Length: <u>1</u> cm
Casing Radius: <u>2.54</u> cm	Wellbore Radius: <u>2.54</u> cm
	Gravel Pack Porosity: <u>0.27</u>
<u>SOLUTION</u>	
Aquifer Model: <u>Unconfined</u>	Solution Method: <u>Bouwer-Rice</u>
K = <u>1.386</u> m/day	y0 = <u>26.03</u> cm



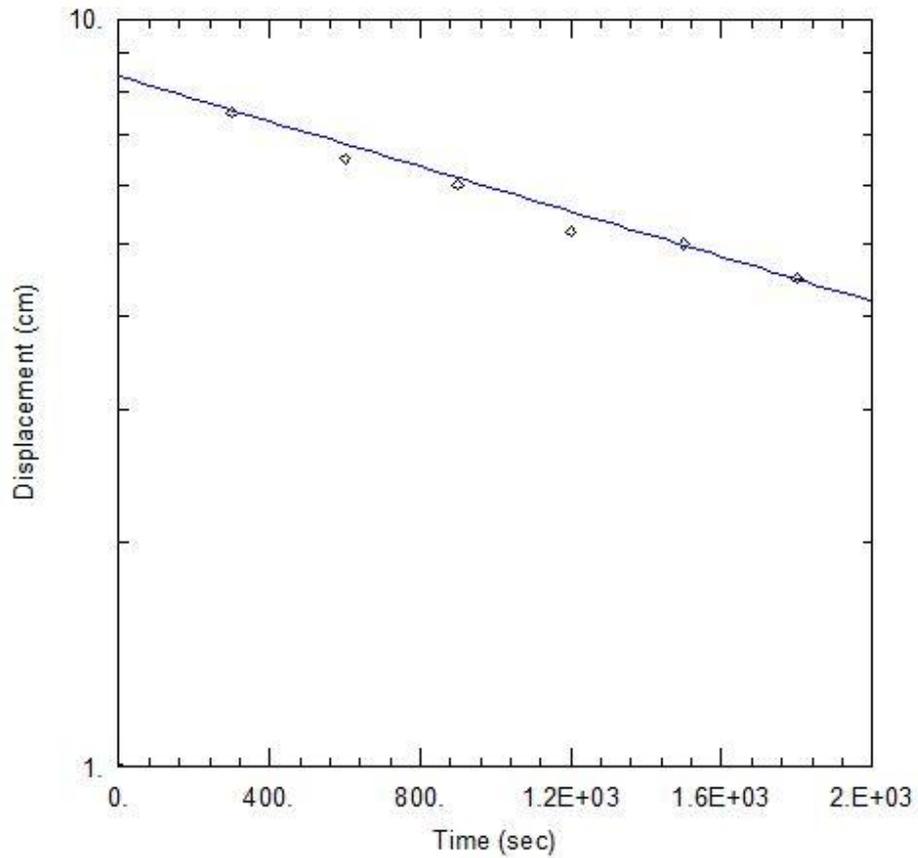
<u>EVALUACION HIDROGEOLOGICA DE SANTA EULALIA</u>	
Data Set: I:\SANTA EULALIA\Santa Eulalia 7.aqt	Time: 11:08:46
Date: 04/22/15	
<u>PROJECT INFORMATION</u>	
Company: INGEMMET	
Client: INGEMMET	
Project: GA-42	
Location: Santa Eulalia - Rimac	
Test Well: EI-02	
Test Date: 12/02/2015	
<u>AQUIFER DATA</u>	
Saturated Thickness: 60. cm	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.
<u>WELL DATA (EI-02)</u>	
Initial Displacement: 1. cm	Static Water Column Height: 60. cm
Total Well Penetration Depth: 1. cm	Screen Length: 1. cm
Casing Radius: 2.54 cm	Wellbore Radius: 2.54 cm
	Gravel Pack Porosity: 0.27
<u>SOLUTION</u>	
Aquifer Model: Unconfined	Solution Method: Bouwer-Rice
K = 1.238 m/day	y0 = 17.04 cm



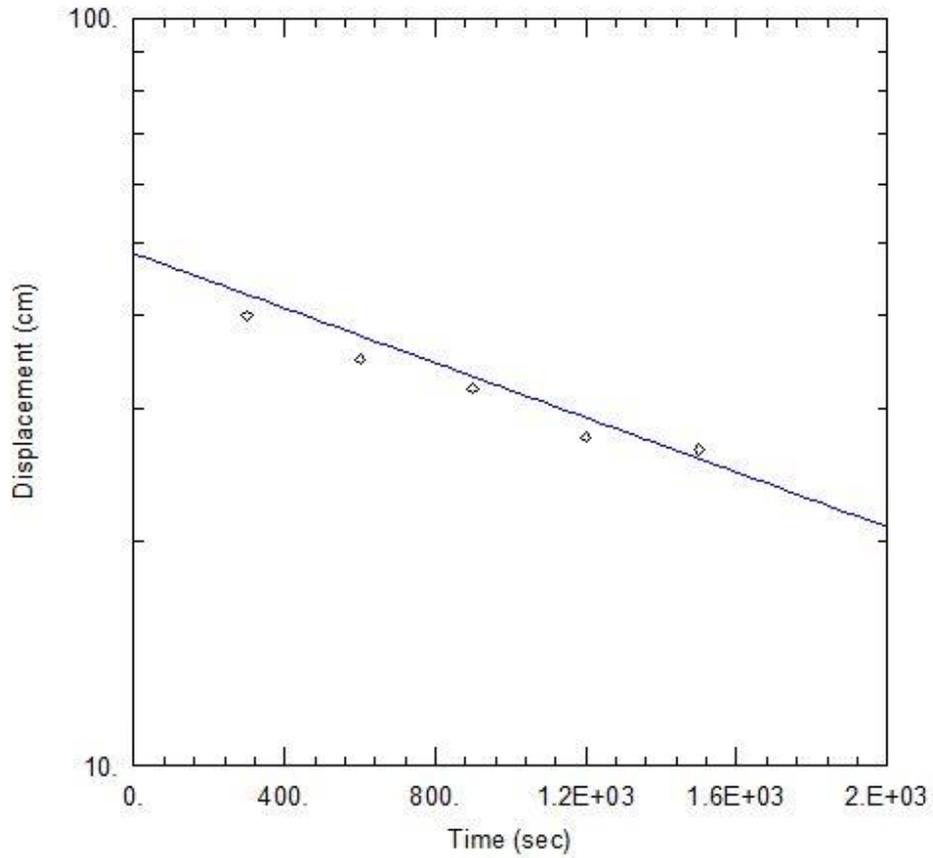
EVALUACION HIDROGEOLOGICA DE SANTA EULALIA	
Data Set: <u>I:\SANTA EULALIA\Santa Eulalia 8.aqt</u>	Time: <u>11:09:22</u>
Date: <u>04/22/15</u>	
PROJECT INFORMATION	
Company: <u>INGEMMET</u>	
Client: <u>INGEMMET</u>	
Project: <u>GA-42</u>	
Location: <u>Santa Eullia - Rimac</u>	
Test Well: <u>EI-03</u>	
Test Date: <u>12/02/2015</u>	
AQUIFER DATA	
Saturated Thickness: <u>60. cm</u>	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1.</u>
WELL DATA (EI-03)	
Initial Displacement: <u>1. cm</u>	Static Water Column Height: <u>60. cm</u>
Total Well Penetration Depth: <u>1. cm</u>	Screen Length: <u>1. cm</u>
Casing Radius: <u>2.54 cm</u>	Wellbore Radius: <u>2.54 cm</u>
	Gravel Pack Porosity: <u>0.27</u>
SOLUTION	
Aquifer Model: <u>Unconfined</u>	Solution Method: <u>Hvorslev</u>
K = <u>0.3301 m/day</u>	y0 = <u>2.644 cm</u>



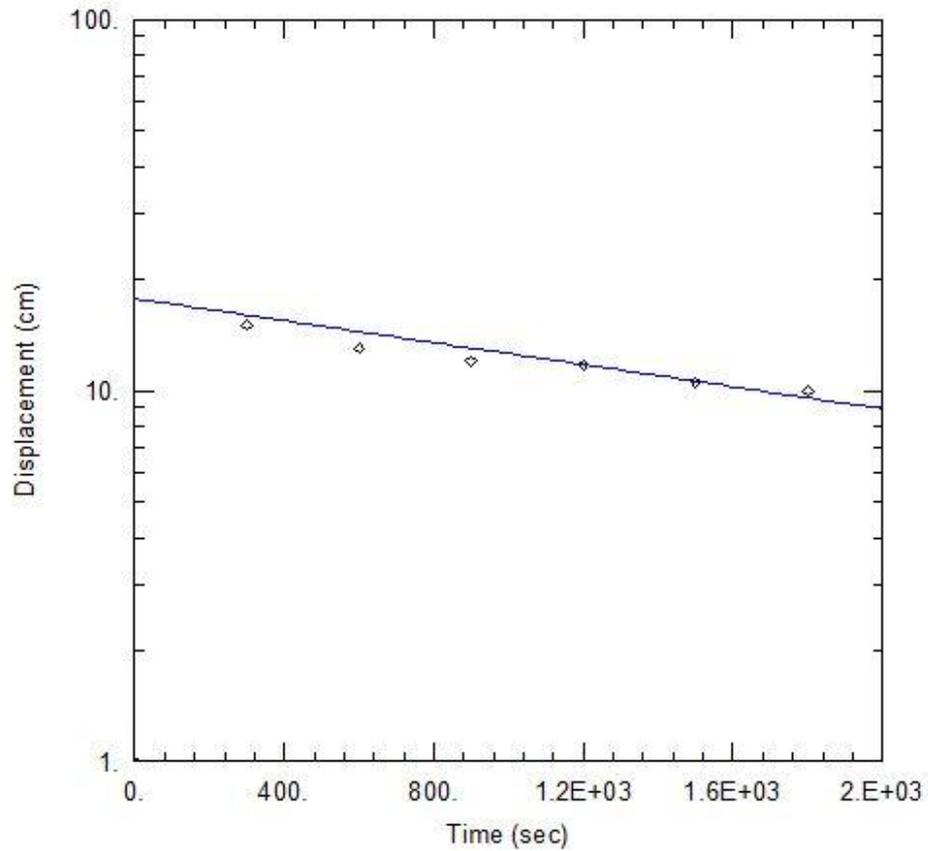
<u>EVALUACION HIDROGEOLOGICA DE SANTA EULALIA</u>	
Data Set: I:\SANTA EULALIA\Santa Eulalia 4.aqt	Time: 11:06:28
Date: 04/22/15	
<u>PROJECT INFORMATION</u>	
Company: <u>INGEMMET</u>	
Client: <u>INGEMMET</u>	
Project: <u>GA-42</u>	
Location: <u>Santa Eulalia - Rimac</u>	
Test Well: <u>EI-04</u>	
Test Date: <u>11/02/2015</u>	
<u>AQUIFER DATA</u>	
Saturated Thickness: <u>60</u> , cm	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1</u>
<u>WELL DATA (EI-04)</u>	
Initial Displacement: <u>1</u> , cm	Static Water Column Height: <u>60</u> , cm
Total Well Penetration Depth: <u>1</u> , cm	Screen Length: <u>1</u> , cm
Casing Radius: <u>2.54</u> cm	Wellbore Radius: <u>2.54</u> cm
	Gravel Pack Porosity: <u>0.27</u>
<u>SOLUTION</u>	
Aquifer Model: <u>Unconfined</u>	Solution Method: <u>Bouwer-Rice</u>
K = <u>2.276</u> m/day	y0 = <u>21.78</u> cm



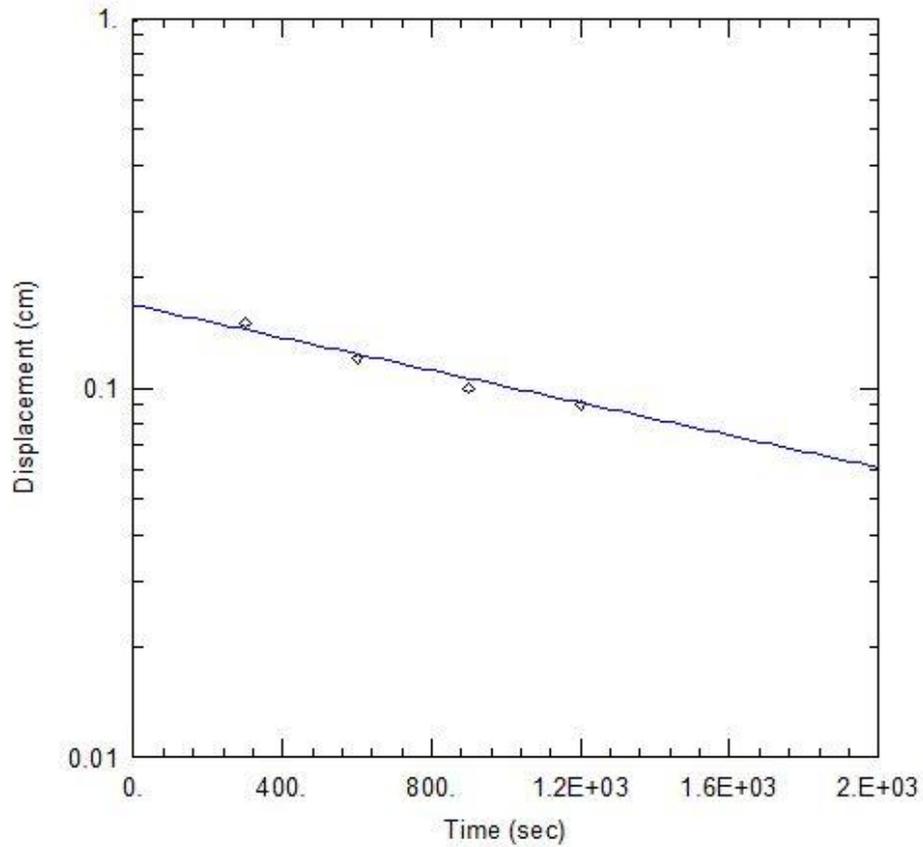
<u>EVALUACION HIDROGEOLOGICA DE SANTA EULALIA</u>	
Data Set: I:\SANTA EULALIA\Santa Eulalia 3.aqt	Time: 11:05:53
Date: 04/22/15	
<u>PROJECT INFORMATION</u>	
Company: <u>INGEMMET</u>	
Client: <u>INGEMMET</u>	
Project: <u>GA-42</u>	
Location: <u>Santa Eulalia - Rimac</u>	
Test Well: <u>EI-05</u>	
Test Date: <u>11/02/2015</u>	
<u>AQUIFER DATA</u>	
Saturated Thickness: <u>60</u> cm	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1</u>
<u>WELL DATA (EI-05)</u>	
Initial Displacement: <u>1</u> cm	Static Water Column Height: <u>60</u> cm
Total Well Penetration Depth: <u>1</u> cm	Screen Length: <u>1</u> cm
Casing Radius: <u>2.54</u> cm	Wellbore Radius: <u>2.54</u> cm
	Gravel Pack Porosity: <u>0.27</u>
<u>SOLUTION</u>	
Aquifer Model: <u>Unconfined</u>	Solution Method: <u>Bouwer-Rice</u>
K = <u>1.49</u> m/day	y0 = <u>8.372</u> cm



<u>EVALUACION HIDROGEOLOGICA DE SANTA EULALIA</u>	
Data Set: <u>I:\SANTA EULALIA\Santa Eulalia 5.aqt</u>	Time: <u>11:06:56</u>
Date: <u>04/22/15</u>	
<u>PROJECT INFORMATION</u>	
Company: <u>INGEMMET</u>	
Client: <u>INGEMMET</u>	
Project: <u>GA-42</u>	
Location: <u>Santa Eulalia</u>	
Test Well: <u>EI-06</u>	
Test Date: <u>11/02/2015</u>	
<u>AQUIFER DATA</u>	
Saturated Thickness: <u>60. cm</u>	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1.</u>
<u>WELL DATA (EI-06)</u>	
Initial Displacement: <u>1. cm</u>	Static Water Column Height: <u>60. cm</u>
Total Well Penetration Depth: <u>1. cm</u>	Screen Length: <u>1. cm</u>
Casing Radius: <u>2.54 cm</u>	Wellbore Radius: <u>2.54 cm</u>
	Gravel Pack Porosity: <u>0.27</u>
<u>SOLUTION</u>	
Aquifer Model: <u>Unconfined</u>	Solution Method: <u>Bouwer-Rice</u>
K = <u>1.811 m/day</u>	y0 = <u>48.39 cm</u>



<u>EVALUACION HIDROGEOLOGICA DE SANTA EULALIA</u>	
Data Set: <u>I:\SANTA EULALIA\Santa Eulalia 2.aqt</u>	Time: <u>11:05:13</u>
Date: <u>04/22/15</u>	
<u>PROJECT INFORMATION</u>	
Company: <u>INGEMMET</u>	
Client: <u>INGEMMET</u>	
Project: <u>GA-42</u>	
Location: <u>Santa Eulalia - Rímac</u>	
Test Well: <u>EI-07</u>	
Test Date: <u>10/02/2015</u>	
<u>AQUIFER DATA</u>	
Saturated Thickness: <u>60</u> cm	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1</u>
<u>WELL DATA (EI-07)</u>	
Initial Displacement: <u>1</u> cm	Static Water Column Height: <u>60</u> cm
Total Well Penetration Depth: <u>1</u> cm	Screen Length: <u>1</u> cm
Casing Radius: <u>2.54</u> cm	Wellbore Radius: <u>2.54</u> cm
	Gravel Pack Porosity: <u>0.27</u>
<u>SOLUTION</u>	
Aquifer Model: <u>Unconfined</u>	Solution Method: <u>Bouwer-Rice</u>
K = <u>1.471</u> m/day	y0 = <u>17.67</u> cm



EVALUACION HIDROGEOLOGICA DE SANTA EULALIA	
Data Set: <u>I:\SANTA EULALIA\Santa Eulalia 1.agt</u>	Time: <u>11:04:18</u>
Date: <u>04/22/15</u>	
PROJECT INFORMATION	
Company: <u>INGEMMET</u>	
Client: <u>INGEMMET</u>	
Project: <u>GA-42</u>	
Location: <u>Santa Eulalia - Rimac</u>	
Test Well: <u>EI-08</u>	
Test Date: <u>10/02/2015</u>	
AQUIFER DATA	
Saturated Thickness: <u>60</u> cm	Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1</u>
WELL DATA (EI-08)	
Initial Displacement: <u>1</u> cm	Static Water Column Height: <u>60</u> cm
Total Well Penetration Depth: <u>1</u> cm	Screen Length: <u>1</u> cm
Casing Radius: <u>2.54</u> cm	Wellbore Radius: <u>2.54</u> cm
	Gravel Pack Porosity: <u>0.27</u>
SOLUTION	
Aquifer Model: <u>Unconfined</u>	Solution Method: <u>Hvorslev</u>
K = <u>0.2758</u> m/day	y0 = <u>0.1671</u> cm



FORMATO

Código : DL-F-245
 Versión : 00
 Aprobado por : DL
 Fecha aprob. : 27 MAYO 2013
 Página : 1 de 2

DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA INFORME DE ENSAYO

INFORME DE ENSAYO N°018 - 2015-INGEMMET/DL/LQ

REFERENCIA:	SOLICITUD N°012-2015-INGEMMET/ DGAR	
PROYECTO:	ACT1: Asistencia Técnica a Gobiernos Regionales y Locales	
RESPONSABLE:	Ing. Fluquer Peña L.	
CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS:	18 Envases (09 Muestras)	
PROCEDENCIA:	Subcuenca Santa Eulalia - Subcuenca Alto Chillón (Departamento de Lima)	FECHA: 26/02/2015

ANIONES:

CATIONES:

N°	CÓDIGO DE MUESTRA	CO ₃ ⁼ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ⁼ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Na mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Sr mg/L	Li mg/L	SiO ₂ mg/L	Ag mg/L	Al mg/L	As mg/L	B mg/L	Ba mg/L	Be mg/L	Bi mg/L	Cd mg/L
1	1375544-188	<1	37	<0.5	2.1	17	5	<1	6.0	1.8	1.0	12.6	0.08	<0.02	16.8	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	<0.003	<0.001	<0.005	<0.001
2	1375544-189	<1	39	<0.5	<0.5	<1	5	<1	4.7	1.0	0.5	9.9	0.05	<0.02	18.7	<0.005	<0.02	<0.01	<0.05	<0.003	<0.001	<0.005	<0.001

L.D.M.	1	1	0.5	0.5	1	2	1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.02	0.02	0.5	0.005	0.02	0.01	0.05	0.003	0.001	0.005	0.001
---------------	---	---	-----	-----	---	---	---	-----	-----	-----	-----	------	------	-----	-------	------	------	------	-------	-------	-------	-------

MÉTODO: CO₃⁼, HCO₃⁻ : Titrimétrico
 F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄⁼: Cromatografía Iónica

MÉTODO : Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES)
 Espectrometría de Masa por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)



FORMATO

Código : DL-F-245
 Versión : 00
 Aprobado por : DL
 Fecha aprob. : 27 MAYO 2013
 Página : 2 de 2

DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA INFORME DE ENSAYO

INFORME DE ENSAYO N°018 - 2015-INGEMMET/DL/LQ

REFERENCIA:	SOLICITUD N°012-2015-INGEMMET/ DGAR	
PROYECTO:	ACT1: Asistencia Técnica a Gobiernos Regionales y Locales	
RESPONSABLE:	Ing. Fluquer Peña L.	
CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS:	18 Envases (09 Muestras)	
PROCEDENCIA:	Subcuenca Santa Eulalia - Subcuenca Alto Chillón (Departamento de Lima)	FECHA: 26/02/2015

ELEMENTOS TRAZAS:

N°	CÓDIGO DE MUESTRA	Ce mg/L	Co mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	La mg/L	Mn mg/L	Mo mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	S mg/L	Sb mg/L	Se mg/L	Sn mg/L	Th mg/L	Ti mg/L	Tl mg/L	U mg/L	V mg/L	W mg/L	Y mg/L	Zn mg/L	
1	1375544-188	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	0.02	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	1.7	<0.005	<0.03	<0.005	<0.05	<0.005	<0.02	<0.05	<0.02	<0.05	<0.02	<0.02	0.003
2	1375544-189	<0.03	<0.001	<0.01	<0.002	0.03	<0.005	<0.001	<0.005	<0.005	<0.005	1.7	<0.005	<0.03	<0.005	<0.05	<0.005	<0.02	<0.05	<0.02	<0.05	<0.02	<0.02	<0.003
L.D.M.(mg/L)		0.03	0.001	0.01	0.002	0.01	0.005	0.001	0.005	0.005	0.005	0.5	0.005	0.03	0.005	0.05	0.005	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.003	

MÉTODO : Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES)
 Espectrometría de Masa por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)