

Recarga Artificial de Acuíferos en Alta Montaña. Las Amunas de Santa Eulalia

Fluquer Peña Laureano^{1,3}, Elmer Condori², y Maura Charca ¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico el Perú – INGEMMET (fpna@ingemmet.gob.pe)

² Universidad nacional del altiplano

³ Pontificia universidad Católica del Perú - PUCP

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las técnicas de recarga artificial de acuíferos se han constituido en una herramienta eficiente que contribuye a la gestión integrada de recursos hídricos, con gran efectividad en el desarrollo de proyectos de alta montaña, sobre todo donde el recurso agua es escaso y se manifiesta solamente en épocas de lluvia.

Las técnicas de recarga artificial de acuíferos se basan en la inducción forzada (no natural) de aguas superficiales y/o de lluvia, para incrementar la disponibilidad del agua en el subsuelo y en ocasiones mejorar su calidad. La recarga artificial, se puede practicar en cualquier tipo de formación geológica que sea permeable y que tenga condiciones para almacenar y transmitir aguas subterráneas.

El proyecto de recarga artificial de acuíferos en alta montaña fue elaborado para la parte alta de Santa Eulalia, con el objetivo de incrementar la disponibilidad hídrica y asegurar el nivel de bienestar de los centros poblados de Callahuanca, Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla (Figura 1) durante todo el año y además contribuir con la seguridad hídrica de Lima Metropolitana

2. METODOLOGIA DE TRABAJO

El proyecto se elabora a solicitud 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

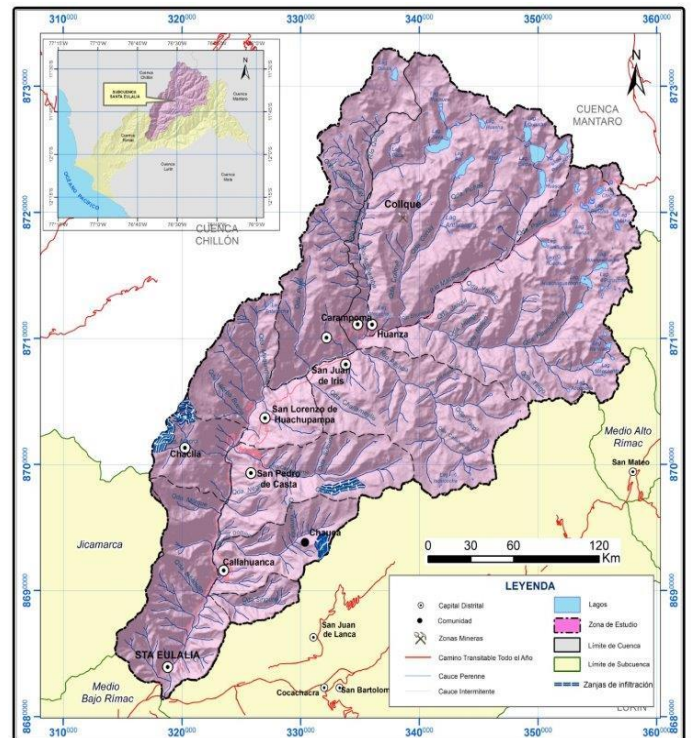


Figura 1. Subcuenca Santa Eulalia y ubicación de los proyectos de recarga artificial

del Perú (INTE-PUCP), a través del Global Water Partnership South América y Foro Peruano para el Agua.

La inspección de campo consistió en la evaluación hidrogeológica de las unidades lito estratigráficas (tipos de roca) y de la geología estructural de la subcuenca, considerando la ubicación de lineamientos, fallas, fracturas, fisuras y pliegues, como elementos condicionantes del movimiento del agua subterránea.

Adicionalmente se realizaron pruebas de campo para medir la conductividad hidráulica de rocas y suelos que permita calcular la velocidad de infiltración del agua en las zonas de recarga. Se identificó las fuentes de agua superficial que se utilizaría en la recarga. Finalmente, en el sector de Callahuanca y Chauca se ubicó dos manantiales, de bajo caudal Patay (1.8 L/s) y Sicacancha (0.65 L/s) los cuales incrementarían su caudal con la presencia de las obras de recarga. En base al análisis e interpretación de la información obtenida: Evaluación hidrogeológica, resultados de campo y ensayos de infiltración se diseñó las propuestas de recarga artificial y la ubicación de las fuentes de aguas superficiales disponibles para la alimentación y recarga.

3. CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA

Para que las obras de recarga beneficien a las cuatro comunidades se han seleccionado tres sectores de intervención, que se ubican en zonas de relieve montañoso, con laderas de mediana a alta pendiente y desarrollado sobre rocas volcánicas de procedencia efusiva y explosiva, que dominan gran parte del paisaje de la región.

Para el cálculo de la conductividad hidráulica 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), permitió obtener una correspondencia hidrogeológica. Los ensayos se realizaron en rocas y suelos que afloran en las tres zonas donde se emplazaran las obras de recarga artificial (Gráfico 1).

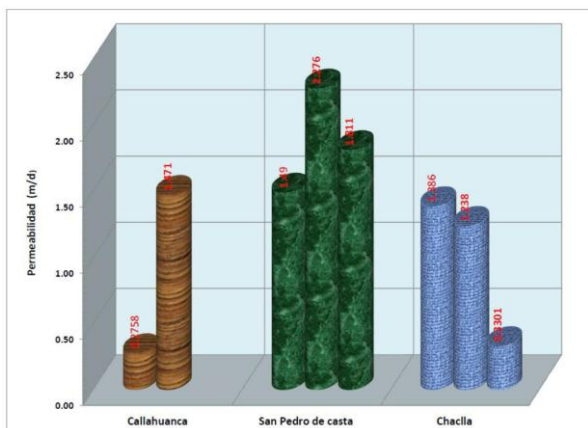


Gráfico 1. Valores de conductividad hidráulica encontrados en los tres sectores propuestos para la recarga artificial.

3.1. Callahuanca - Chauca

El proyecto de recarga se ubica en la parte alta del centro poblado de Chauca, en una ladera de alta pendiente y cerca de la divisoria de aguas de la quebrada, donde se pretende infiltrar aguas de lluvia para incrementar el caudal de dos manantiales ubicados en la parte baja cerca del poblado de Chauca y que sea sostenible durante el año. Desde el punto de vista litológico, está emplazado sobre una morfología de ambiente volcánico del Paleógeno

Neógeno, donde las rocas volcánicas fueron formando superficies accidentadas (laderas parcialmente onduladas), en tramos puntuales sobre superficies subhorizontales con presencia de material morrénico acumulado que cubre el basamento rocoso conformado por rocas volcánicas, principalmente tobas y flujos de lava.

En la parte baja, los manantiales de bajo caudal (fotografía 1) se encuentran alineados en dirección este oeste, 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 a través de sus fracturas. Estos manantiales Patay (1.8 L/s) y Sicacancha (0.65 L/s) son también el objetivo de recarga, es decir, los trabajos de recarga artificial en la zona de Callahuanca-Chauca se diseñaron para incrementar el caudal de estos manantiales y la generación de otros nuevos.



Fotografía 1. Manantial Sicacancha (1.8 L/s)

En ambas fuentes los valores de pH del agua, son neutras, Patay (6.75) y Sicacancha (7.62) que corresponde a aguas de corta infiltración y poco tiempo de residencia en el subsuelo. Los valores de conductividad eléctrica son bajos (manantial Patay: 109.5 uS/cm y Sicacancha: 94.42 uS/cm), lo que significa bajo contenido de sales y corto tiempo de residencia en el subsuelo, de infiltración localizada, lo cual también se corrobora por la baja temperatura (Patay: 12 °C y Sicacancha: 11.2 °C). Desde el punto de vista hidroquímico, son aguas de 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. Corresponden a aguas dulces que proceden de la infiltración de la lluvia corroborados por sus bajos caudales. Estas características permiten interpretar que

las aguas son de flujo somero que tendrían incremento de su caudal con las obras de recarga artificial.

Para el cálculo de la conductividad hidráulica de Callahuanca-Chauca se realizaron dos ensayos de infiltración cuyos resultados son variados. El ensayo EI-07 (fotografía 2) se realizó en zonas donde predomina la roca volcánica fracturada (flujos de lava y tobas), cuyo resultado es 1.47 m/día, que permite calificarlo como material permeable cuya clasificación hidrogeológica es de acuífero moderado a bueno. El segundo ensayo se realizó sobre material no consolidado y meteorizado (suelo), por donde también se trazará la zanja de infiltración, cuyo resultado es 0.276 m/día clasificado como materiales algo permeables correspondiente a la clasificación hidrogeológica de acuífero pobre. Estos valores permiten plantear que las zanjas de infiltración deben tener un diseño especial (con mayor profundidad).



Fotografía 2. Ensayo de infiltración en el sector Callahuanca-Chauca.

3.2. San Pedro de Casta

En el sector de San Pedro de Casta, la zona de recarga corresponde a una ladera de moderada pendiente ubicada en la quebrada Chanicocha 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. En este sector se ubica una quebrada aledaña, con caudal estimado de 40 L/s (aforado en temporada de lluvias, el 14/02/2015), que constituye la fuente de recarga de donde se estaría captando el agua para usarla con la tecnología de amunas y/o canales de infiltración.

Los valores de conductividad hidráulica encontrados corresponden 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 3). Los tres valores encontrados corresponden a rocas volcánicas permeables compuestas por flujos de lavas fracturadas y alteradas, los cuales se encuentran con materiales acumulados producto de la caída de rocas y la meteorización en la ladera, por lo tanto se le asigna una clasificación de permeable y una clasificación hidrogeológica de acuífero bueno.



Fotografía 3. Antiguo canal colmatado, cuya restauración se adecuará para una de las Amunas en San Pedro de Casta.

3.2. Chaclla

En el sector de Chaclla se presentan laderas de moderada a baja pendiente, sin embargo el componente litológico está compuesto de material 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) que derivan en materiales finos (arcillas y en baja proporción limos), por lo tanto; se presentan bancos de arcilla en la parte central de la quebrada, las mismas que dificultarían la infiltración del agua en las zanjas de infiltración. En la parte media, cabecera de la quebrada existe una perforación de 11 metros (especie de pozo exploratorio), que se presenta totalmente seco, comprobando la característica impermeable de la arcilla.

Los valores de conductividad hidráulica encontrados corresponden a materiales permeables y algo permeable, los ensayos de infiltración realizados (EI-01=1.386 m/día, EI-02=1.238 m/día y EI-03=3.301x10^{-1.386} m/día) evidencian características de permeabilidad 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 presencia de arcillas rojizas (EI-03) su valor es poco a algo permeable, lo cual corresponde a un acuífero pobre en materiales semipermeables. Por lo tanto; para esta zona solamente se debe identificar sectores puntuales para el diseño de las obras de recarga, incidiendo en la margen izquierda donde se encuentra la parte rocosa.

4. PROPUESTA DE RECARGA ARTIFICIAL

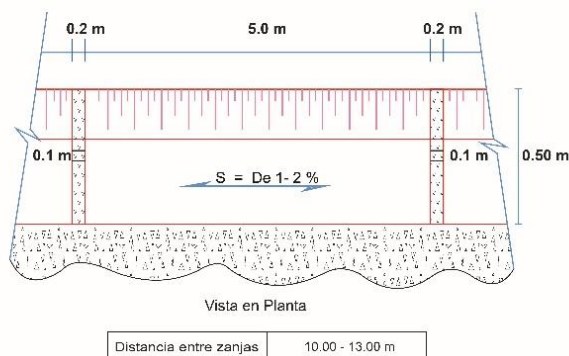
La zona de recarga artificial de acuíferos se ubica en la parte alta de la sub cuenca del río Santa Eulalia, en sectores aledaños a los centros poblados de Callahuanca-Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla, las mismas que permitieron realizar 2 pruebas de recarga con las siguientes técnicas:

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

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

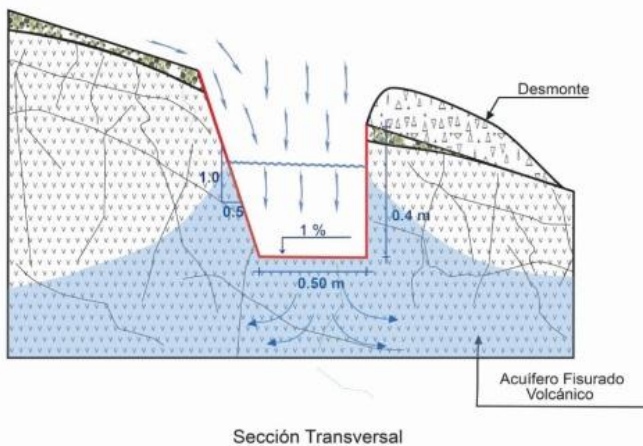
Para San Pedro de Casta, se plantea amunas o canales de infiltración porque cuenta con una quebrada de 40 L/s de caudal, lo cual puede ser aprovechado como fuente de alimentación para la recarga.

Diseño de la zanja de infiltración



Diseño de la zanja de infiltración

H = 0.40 m.



El diseño de las zanjas de infiltración (gráfico 2), consiste en la perforación de una franja abierta en la superficie (suelo y roca), con sección longitudinal de 5 m, de forma trapezoidal y pequeño ancho (0.5 m), 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%. 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 debe realizarse al momento de la ejecución de obra 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 diseño de las Amunas tienen el mismo principio de las zanjas de infiltración; con la diferencia de que son franjas abiertas continuas, como especie de canales de 0.4 m de profundidad y 0.5 m de base.

El material extraído de las zanjas 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 las primeras lluvias.

5. CONCLUSIONES

Uno de los principales inconvenientes que presentan las zanjas de infiltración es la reducción de la capacidad de infiltración del suelo 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 mejorar y mantener la eficiencia en las obras de recarga se debe limpiar las 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.

Agradecimientos

Agradecemos al Programa Agua Clima y Desarrollo de la PUCP, al señor Gregorio Ríos por haber guiado las campañas de campo

Referencias

- Peña, F., Charca, M. Condori E. (2015). Inspección Hidrogeológica para la Recarga Artificial de Acuíferos en Santa Eulalia. Informe Técnico INGGEMMET. 55 paginas.
- Pulido, J. (1978). Hidrogeología Práctica Bilbao: URMO, 314 paginas.