

Este cuadernillo ha sido elaborado en el marco del Proyecto Cuenca Pedagógica Pucara (PCPP).

El PCPP, viene ejecutándose en el marco del Programa Intercultural de Cuencas Pedagógicas (PICP) del Plan Nacional de Cuencas, a cargo del Vice-Ministerio de Recursos Hídricos y Riego.

El proyecto plantea dos ejes centrales de trabajo: el desarrollo de capacidades locales y la promoción de una organización de gestión de cuenca (OGC). Ambas acciones facilitarían a futuro una gestión más concertada e integral y un mejor desempeño de los actores locales en procesos de planificación, toma de decisiones e intervención en relación a sus espacios territoriales y a la gestión de sus recursos naturales, en particular del agua.

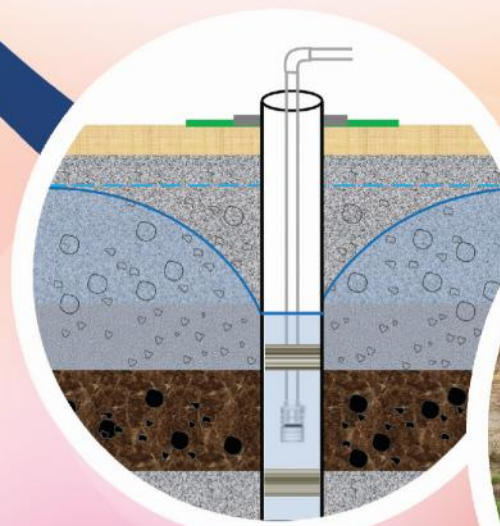
PROGRAMA INTERCULTURAL DE CUENCAS PEDAGÓGICAS PROYECTO CUENCA PEDAGÓGICA PUCARA



Cuadernillo N° 2:

FUNDAMENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ABANICO DE PUNATA

Aníbal Mayta López y Alfredo Durán Núñez del Prado



Entidad Facilitadora



Viceministerio de Recursos
Hídricos y Riego



Plan Nacional
de Cuencas



Universidad Mayor
de San Simón



Facultad de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y Forestales



Centro Andino para la
Gestión y Uso del Agua



Centro Andino para la Gestión
y Uso del Agua

© Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA)
Facultad de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Forestales
Universidad Mayor de San Simón
Av. Petrolera Km. 5
Teléfono: +591 4 4762382
www.centro-agua.org
Cochabamba, Bolivia

Texto, diseño y edición:

Anibal Mayta López¹ y Alfredo Durán Núñez del Prado²

Revisión:

Oscar Delgadillo
Vladimir Cosio

Diagramado e impresión:

KIPUS

Este cuadernillo fue elaborado en el marco del Proyecto Cuenca Pedagógica Pucara (PCPP), como material de formación y capacitación de usuarios del agua y profesionales que trabajan en torno al agua. El PCPP, viene ejecutándose en el marco del Programa Intercultural de Cuencas Pedagógicas (PICP) del Plan Nacional de Cuencas, a cargo del Vice-Ministerio de Recursos Hídricos y Riego del MMAyA. El Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA) de la FCAPyF es la entidad facilitadora del PCPP.

Cochabamba, marzo 2015

¹ Investigador Centro AGUA-FCAPyF-UMSS. Investigador del proyecto Cuenca Pedagógica Pucara. Responsable de la Investigación Participativa en Aguas Subterráneas en el Abanico de Punata.

² Docente-investigador del Centro AGUA-FCAPyF-UMSS. Docente de Aguas Subterráneas y de Manejo Integrado de Cuencas en Pregrado. Docente de Postgrado en Desarrollo de Recursos Hídricos. Coordinador del Proyecto GIRH-ASDI-UMSS. Responsable del Programa de Investigación en Aguas Subterráneas del Centro AGUA. Responsable del componente de investigación del Proyecto Cuenca Pedagógica Pucara.

CONTENIDO:

¿Qué es el agua subterránea?	3
¿Cómo se origina el agua subterránea?.....	5
¿Cómo se mueve y almacena el agua subterránea?.....	6
Los acuíferos del abanico de Punata 9	
Recarga del agua subterránea en el Abanico de Punata	11
La descarga del agua subterránea en el Abanico de Punata	14
Balace entre la entrada y salida de agua subterránea.....	16
¿Cómo controlamos la cantidad de agua subterránea disponible?	16
Efectos de la sobreexplotación de agua subterránea en el Abanico de Punata.....	18
Acciones orientadas a la sostenibilidad de la extracción de agua subterránea.....	21

PRESENTACION

“Fundamentos para el aprovechamiento sostenible de las aguas subterráneas en el Abanico de Punata”, es un cuadernillo didáctico preparado por Aníbal Mayta y Alfredo Durán en el marco del Proyecto Cuenca Pedagógica Pucara. Está orientado a usuarios del agua, técnicos municipales, estudiantes, profesionales y cualquier persona interesada, para que comprendan las características y procesos que siguen las aguas subterráneas, así como las consecuencias de su sobreexplotación o mala gestión.

Con lenguaje sencillo, explican los fundamentos hidrogeológicos que permiten entender las condiciones de almacenamiento y transmisión de las aguas subterráneas en los acuíferos. Posteriormente, describen las características de los procesos de recarga y descarga, tomando como base las investigaciones realizadas por el Centro AGUA en el abanico aluvial de Punata, mostrando con algunos ejemplos, cómo el proceso de sobreexplotación de aguas subterráneas está poniendo en riesgo la sostenibilidad socioeconómica y ambiental, así como el futuro de nuestros hijos. Finalmente, reflexionan sobre las posibles acciones para revertir la sobreexplotación de aguas subterráneas.

Estoy seguro que este cuadernillo se constituirá en un aporte importante para la divulgación de conocimiento sobre los procesos actuales de aprovechamiento de aguas subterráneas y a la toma de conciencia sobre la problemática que estos procesos generan, no solamente en la cuenca pedagógica Pucara, sino en otros ámbitos similares.

Ing. MSc Oscar Delgadillo

Coordinador PCPP

¿QUÉ ES EL AGUA SUBTERRÁNEA?

El agua subterránea es el agua contenida en los espacios porosos en la zona saturada del subsuelo. Estas zonas saturadas son denominadas acuíferos y según el tamaño de espacios porosos que tengan y las características del terreno, presentan diferentes propiedades hidráulicas.

Por ejemplo, arenas gruesas y grava presentan espacios porosos grandes (macroporos), que permiten un almacenamiento de agua relativamente alto, y que además facilitan la circulación del agua (elevada conductividad hidráulica), que asegura gran capacidad de recarga de estos acuíferos. Tales condiciones de almacenamiento y movilidad del agua son por tanto ideales para la explotación de aguas subterráneas mediante pozos (Figura 1).

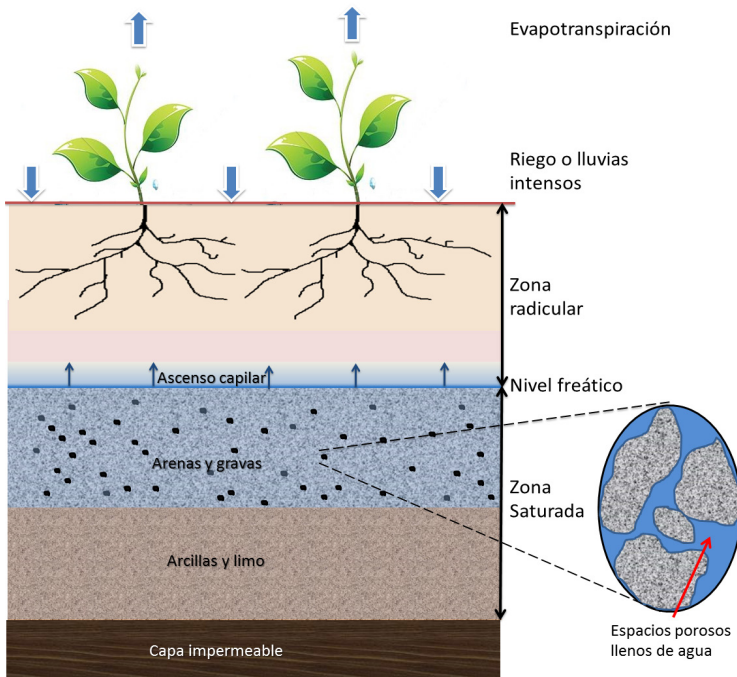


Figura 1. Distribución de agua en el subsuelo

Por el contrario, las arcillas y limos presentan espacios porosos pequeños (microporos). Por ello, aunque su capacidad de almacenamiento total es muy alta, la mayor parte del agua está retenida por las arcillas, y el agua que queda disponible (porosidad drenable) es muy escasa. La movilidad del agua también es muy lenta (baja conductividad hidráulica), y por ello la capacidad de recarga de estos acuíferos es muy limitada. En la Figura 1, se esquematizan estos espacios porosos donde se almacena y circula el agua subterránea.

La Hidrogeología es la ciencia que estudia las condiciones de almacenamiento, circulación y distribución de las aguas subterráneas en las zonas saturada y no saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico, y las consecuencias de la acción del hombre.

Por tanto, las investigaciones sobre aguas subterráneas deben generar conocimiento e información sobre:

1. La estructura del sistema acuífero, que depende de la Geología y Geomorfología de la región, y que configuran los estratos del subsuelo, cada uno con sus características específicas, sean rocas, arcillas, limos, arenas o gravas.
2. Los procesos de recarga del acuífero y descarga desde el acuífero. El principal indicador de la dinámica de estos procesos es el comportamiento del nivel estático del agua subterránea.
3. El balance hídrico subterráneo, que está vinculado por una parte con las condiciones de almacenamiento de agua subterránea en el acuífero, y por otro con los flujos subterráneos y con las extracciones de agua a través de pozos.
4. La calidad de las aguas subterráneas y los procesos de contaminación hídrica, a fin de entender sus implicaciones sobre diferentes usos humanos y productivos del agua, efectos ambientales y salud pública.

¿CÓMO SE ORIGINA EL AGUA SUBTERRÁNEA?

El agua se mueve constantemente siguiendo el ciclo hidrológico (Figura 2). Para entender cómo se origina el agua subterránea vamos a seguir paso a paso el movimiento del agua:

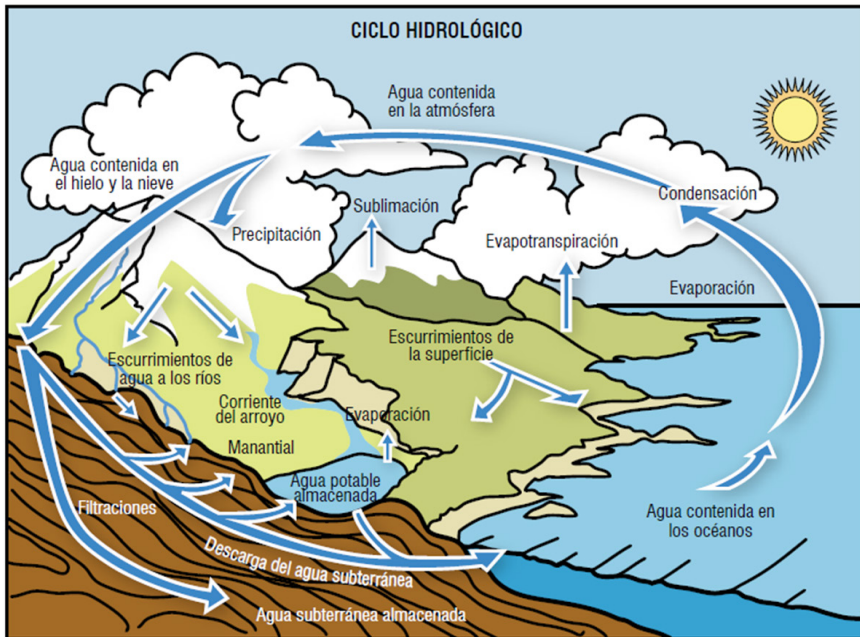


Figura 2. Ciclo hidrológico

- **Paso 1.** La principal fuente de agua dulce para los continentes proviene de la evaporación del agua marina, que llega a formar nubes cargadas de humedad que son transportadas por el viento hacia los continentes. Sin embargo, en la tierra el agua también es transpirada desde las plantas y evaporada desde el suelo, ríos, represas, lagunas y las demás fuentes de agua. El vapor de agua se condensa en la atmósfera formando masas de nubes.
- **Paso 2.** Desde las nubes el agua cae a la tierra nuevamente como lluvia, granizo o nieve, y constituye por ello el proceso más importante de reposición de agua a las zonas terrestres.

- **Paso 3.** Cuando el agua de lluvia alcanza la superficie de la Tierra, puede escurrir por los ríos, ser almacenada en los reservorios de agua, evaporarse y también puede infiltrarse dentro de la tierra, proceso llamado infiltración. El agua que se infiltra en la tierra puede quedar almacenada en el suelo, o puede infiltrar hasta estratos mas profundos del subsuelo, proceso tambien conocido como percolación profunda, acumulándose en los espacios porosos del subsuelo. Es decir, se transforma en agua subterránea.
- **Paso 4.** El agua subterránea puede salir nuevamente a la superficie de la tierra de manera natural a través de vertientes o manantiales y a través del flujo base o caudal básico de un río. Tambien puede ser extraída mediante un pozo, ya sea perforado o excavado.

En síntesis, el agua subterránea es aquella parte del agua del ciclo hidrológico que, luego de infiltrarse bajo la superficie del terreno, es almacenada en los espacios porosos del subsuelo y transportada de zonas de mayor energía a zonas de menor energía, gracias al gradiente hidráulico, relacionado con la fuerza de gravedad, y la permeabilidad o conductividad hidráulica de los acuíferos.

¿CÓMO SE MUEVE Y ALMACENA EL AGUA SUBTERRÁNEA?

El agua subterránea se almacena en los acuíferos, que son las zonas saturadas en el suelo y a través de los espacios porosos que presentan estos acuíferos, el agua puede moverse de un lugar a otro (Figura 3).

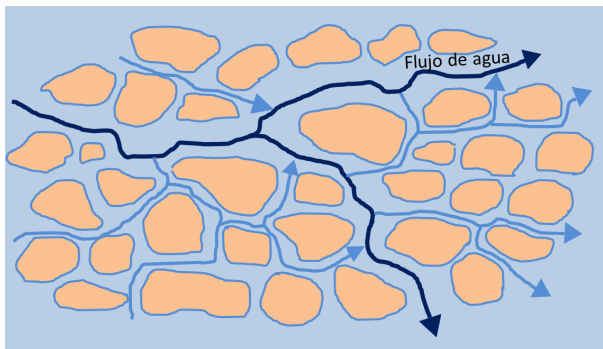


Figura 3. Movimiento del agua subterránea

Los acuíferos pueden presentarse en diferentes formaciones geológicas, sin embargo para ser explotables deben tener estratos de arenas, gravas y, piedra (material grueso), que permitan extraer cantidades apreciables de agua para diferentes usos tales como ser riego, consumo doméstico, industria y otros usos. Las formaciones rocosas subterráneas o acuíferos se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- **Acuífero.** Formación geológica saturada (por ejemplo, arenas y gravas) que almacena grandes volúmenes de agua que se mueven con relativa facilidad a través del acuífero, es decir que tienen además una buena capacidad de recarga. Los acuíferos son por tanto las formaciones hidrogeológicas que permiten el aprovechamiento de agua para distintos usos.
- **Acuitardo.** Formación geológica (por ejemplo, limo) que almacena agua pero el movimiento del agua es lenta, y por tanto tiene baja capacidad de recarga, y su explotación no se justifica.
- **Acuicludo.** Formación geológica (por ejemplo, arcilla) que almacena volúmenes de agua pero no permite su movimiento y por ende no tienen recarga hídrica.
- **Acuifugo.** Formación geológica (por ejemplo, granito o cuarcitas no fisuradas) que no es capaz de almacenar ni transmitir el agua.

Los acuíferos pueden clasificarse de acuerdo a las condiciones de presión hidrostática a las que está sometida el agua almacenada, condiciones que varían según la posición estratigráfica de la formación. Puede hablarse de los siguientes tipos (Figura 4):

- **Acuíferos libres.** Son aquellos en los cuales su límite superior (la superficie freática) está en contacto directo con la atmósfera

(aire). Si extraemos agua, el nivel de agua descenderá de igual manera que una piscina cuando se vacía.

- **Acuíferos cautivos o confinados.** Son aquellos cuerpos de agua que se acumulan entre dos capas impermeables. Si se perfora este acuífero, el nivel de agua ascenderá hasta situarse en una posición que coincidirá con el nivel de saturación del acuífero en el área de recarga (nivel piezométrico). Si el nivel de agua de la zona de recarga es mayor a la zona donde se está perforando un pozo tendremos pozos surgentes.

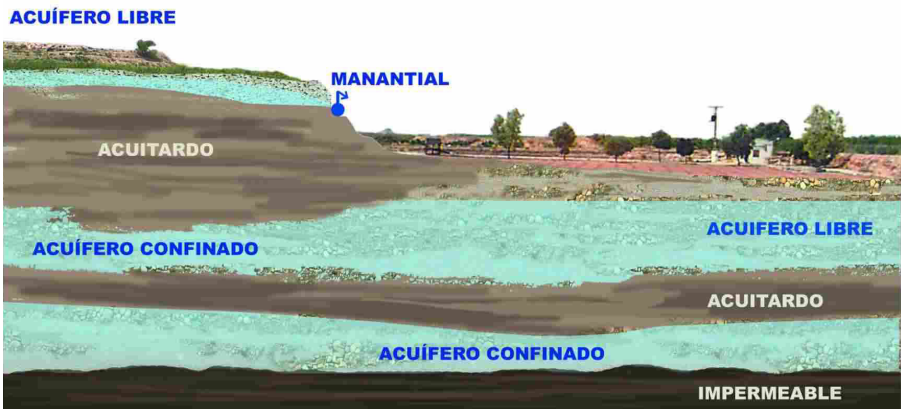


Figura 4. Tipos de acuífero

- **Acuíferos semiconfinados.** Son acuíferos que se encuentran limitados ya sea por su base o por el techo, o por ambos, por una capa o formación semipermeable (acuitardo). En este tipo de acuíferos el agua se mueve libremente, pero de forma muy lenta, a través de los acuitardos que lo limitan, ya sea en dirección ascendente o descendente.

LOS ACUÍFEROS DEL ABANICO DE PUNATA

El abanico aluvial de Punata, a la salida de la cuenca Pucara, se caracteriza por haber conformado una serie de acuíferos de gran potencial, que desde siempre han abastecido de aguas subterráneas a Punata, aguas que en el pasado reciente eran extraídas mediante pozos excavados superficiales, e incluso en varios sectores fluían manantiales (*Juturis*) de forma natural.

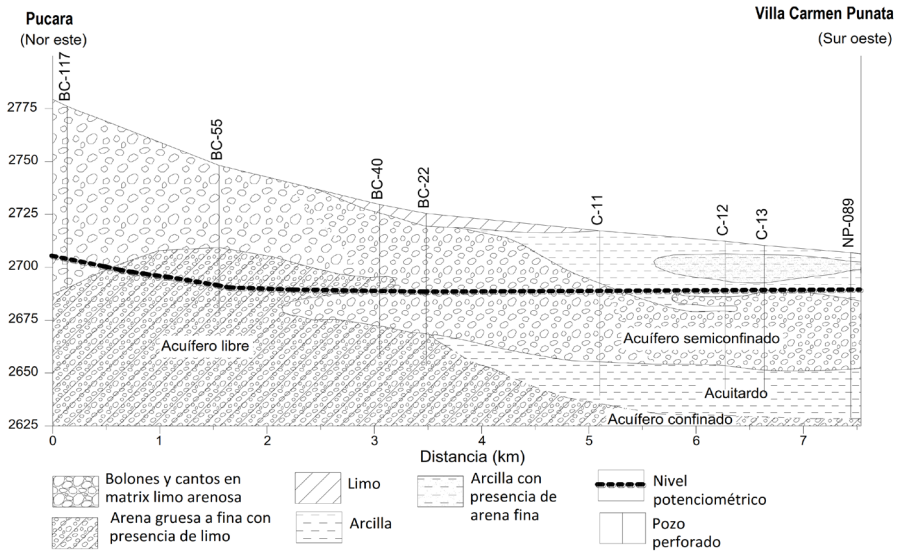
Sin embargo, durante las últimas 4 décadas se ha generado un proceso de sobre-explotación de aguas subterráneas, vía la perforación de pozos profundos, que paulatinamente han generado el descenso del nivel freático y la consiguiente reducción paulatina de los caudales de bombeo.

Cabe indicar que en zonas donde existe sobre-explotación de acuíferos, y llega a vaciarse el acuífero, se pueden producir hundimientos de terrenos, por ejemplo como en la zona sud del Abanico de Punata, donde estos hundimientos son conocidos como *Oqhoris*.

En un corte litológico desde la comunidad Pucara bajando hasta Villa Carmen Arani, se puede observar que existen tres tipos de acuíferos en el Abanico de Punata: libre, semiconfinado y confinado (Figura 5):

- El **acuífero libre** está ubicado en el ápice del Abanico. El material que lo conforma consiste principalmente de bolones y cantos rodados en la parte superior y en la parte inferior se encuentran capas de arena gruesa a fina con presencia de limo.
- El **acuífero semiconfinado** está situado en la parte media del Abanico. Sus estratos constituyentes son sedimentos limosos en la parte superior, y a mayor profundidad se encuentran estratos de bolones, gravas y limo arenosos.

- El **acuífero confinado** conformado por el mismo material que el acuífero libre y semi-confinado, se encuentra en la parte distal del abanico y el material que confina este acuífero es el material de arcilla.



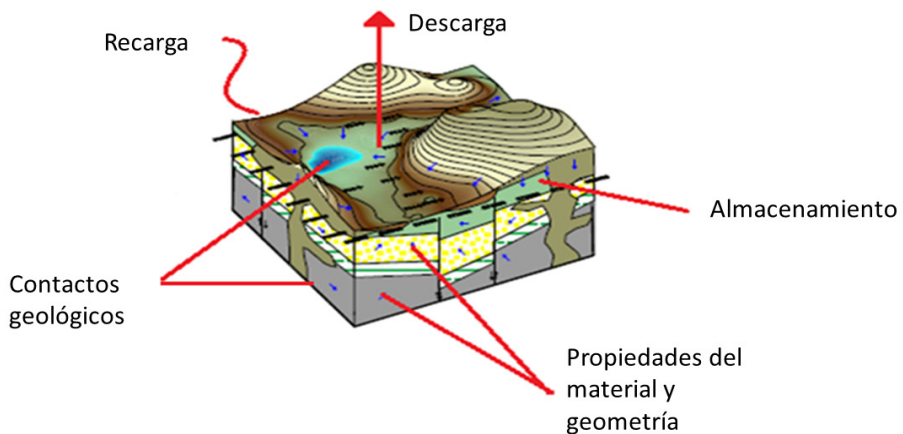
Fuente: Hernández, 2013

Figura 5. Tipos de acuíferos en el Abanico de Punata

Debido a la escasa información geológica existente en el país, es muy importante guardar los informes de construcción de los pozos, ya que los informes incluyen la información litológica de los pozos perforados. Esta información es muy útil para conocer el tipo de acuífero y las características geológicas de los estratos presentes.

LA RECARGA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ABANICO DE PUNATA

La recarga se refiere al proceso de entrada de agua (infiltración) debajo de la superficie de la tierra para ser almacenada en los acuíferos. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (en general, la más importante) y de las aguas superficiales (importantes en climas poco lluviosos), hasta la transferencia de agua desde otro acuífero (Custodio, 1998). El área o zona donde ocurre la recarga se llama zona de recarga y son sitios donde usualmente la capacidad de infiltración es alta (Figura 6).



Fuente: Ortiz, 2013.

Figura 6. Modelo conceptual del acuífero de Punata

De forma general, se puede señalar que las partes altas son áreas de recarga (entrada de agua) y las zonas bajas son áreas de descarga (salida de agua). En el caso de valles aluviales áridos como el Abanico de Punata la recarga ocurre además a lo largo de canales o ríos (Figura 7).

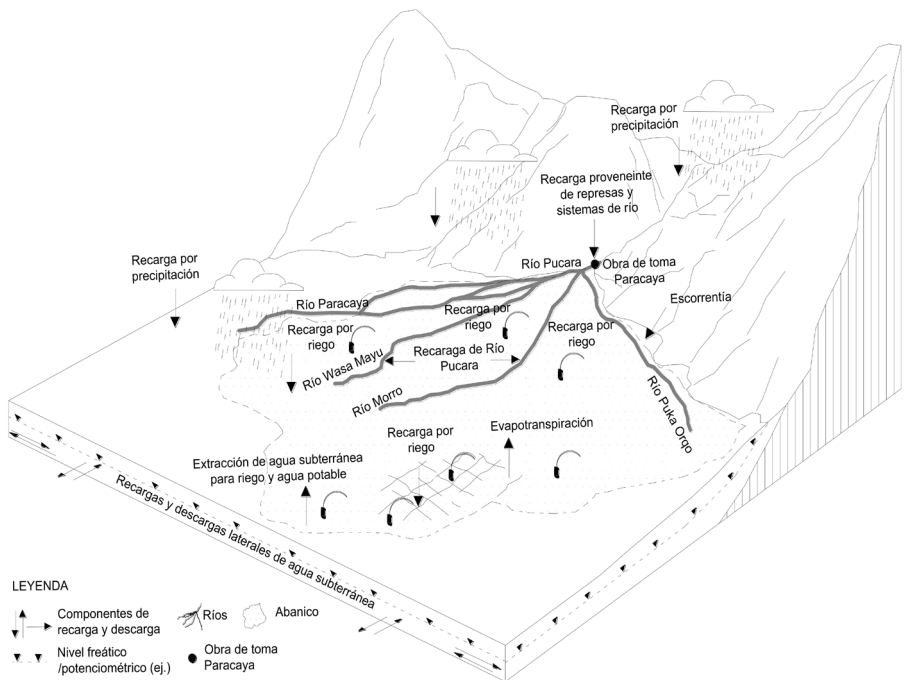


Figura 7. Zonas de recarga y descarga de agua subterránea

La recarga hídrica depende del régimen de precipitación (época, duración e intensidad de las lluvias), de la escorrentía superficial y del caudal de los ríos, así como de la permeabilidad de los suelos, de su contenido de humedad y del patrón de drenaje de la cuenca. También la pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que los terrenos muy inclinados favorecen la escorrentía superficial; por el contrario, los terrenos con poca pendiente retienen por más tiempo el agua, lo que favorece la infiltración (INAB, 2003).

Como se ve en la Figura 8, en el Abanico de Punata la recarga de agua subterránea se realiza por diferentes vías:

- **Recarga en la cuenca del río Pucara:** Sin duda los aportes de recarga más importantes se dan en la época de lluvia, a partir del incremento de caudales en los ríos Puka Orko, Morro, Wasa Mayu y Paracaya y la consiguiente mayor infiltración que ocurre.
- **Recarga por precipitación pluvial:** Las recargas por infiltración como consecuencia de la lluvia directa sobre los terrenos, se dan en diferentes lugares de la parte alta de la cuenca Pucara y en la zona de valle (Abanico de Punata).



Fuente: Hernández, 2013

Figura 8. Representación del proceso de recarga en el abanico de Punata

- **Recarga por agua de represas:** Otro de los aportes de recarga de agua subterránea en el Abanico de Punata es el agua proveniente de las presas. Las recargas de efectúan en el lecho del río, aguas arriba de la Bocatoma La Villa.

LA DESCARGA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ABANICO DE PUNATA

El agua, una vez que entra en la zona saturada, circulará por el acuífero siguiendo los gradientes hidráulicos hasta antes de salir al exterior o ser extraída en su recorrido. Existen dos tipos de flujo de acuerdo a la longitud de recorrido y permanencia en el acuífero (Figura 9):

- **Flujo local.** Son flujos de agua que recorren pocos kilómetros y el agua sale en poco tiempo (semanas o meses).
- **Flujo regional.** Este tipo de flujos más profundos recorren distancias más largas y donde el agua puede salir a la superficie de la tierra en varios meses o años.

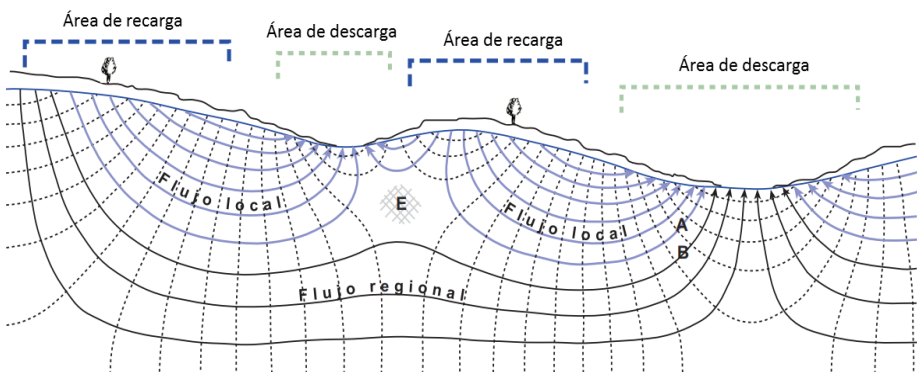


Figura 9. Zonas de recarga y descarga, y regímenes de flujo

En el Abanico de Punata el agua subterránea sale a la superficie por los siguientes caminos:

- Extraída artificialmente, mediante **pozos perforados o excavados** (Figura 10). En zonas de topografía plana y nivel freático profundo, la extracción por captaciones constituye la única salida del agua subterránea. Esta es sin duda la principal forma de (sobre)explotación de aguas subterráneas que ha dado lugar a la preocupante situación actual.



Figura 10. Pozo perforado en la comunidad Pucara

- Salida al exterior como **Juturi** (manantial), que se da principalmente cuando el flujo subterráneo intersecta la superficie del terreno.
- **Evapotranspiración**, por plantas de raíces profundas (sauce, eucalipto, molle, etc.) o si la superficie freática esta próxima a la superficie (zona sud del Abanico de Punata).
- **Flujo base del río Pucara**, estas salidas son las descargas de agua ubicadas principalmente al inicio del abnico (sector K'uchu Punata).

BALANCE ENTRE LA ENTRADA Y SALIDA DE AGUA SUBTERRÁNEA

Por analogía, el balance de agua subterránea se puede explicar cómo los ingresos (depósitos) y egresos (retiros) de dinero en un banco; en este caso, las recargas y descargas de agua subterránea:

- **Depósitos:** Constituye la recarga de agua natural por aportes de la precipitación, río o infiltración y recarga artificial.
- **Retiros:** Son las descargas naturales por el río y extracciones por bombeo para riego y uso doméstico.
- **Saldo bancario:** Cantidad de agua que queda almacenada en el acuífero.

¿CÓMO CONTROLAMOS LA CANTIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA DISPONIBLE?

Una forma simple de controlar la extracción de aguas subterráneas es midiendo los niveles estáticos en los diferentes meses y a través de los años, lo cual permite ver si la explotación es sostenible o no. Si se presenta una reducción paulatina pero constante de los niveles freáticos, como es el caso de Punata, quiere decir que la extracción supera a la recarga de agua subterránea, por tanto hay una sobre-explotación de los acuíferos (Figura 11).

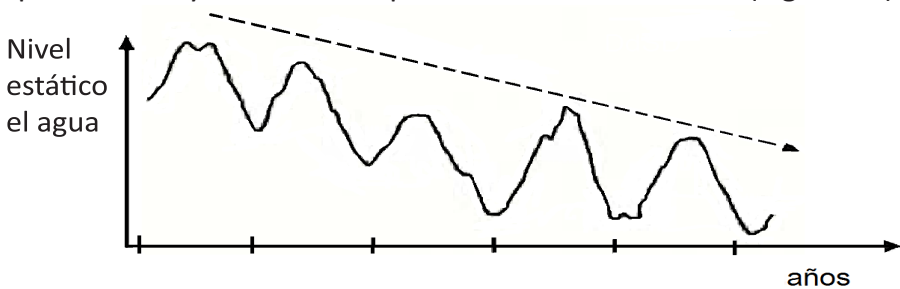


Figura 11. Sobre-explotación de agua subterránea. El nivel estático disminuye de forma paulatina pero constante.

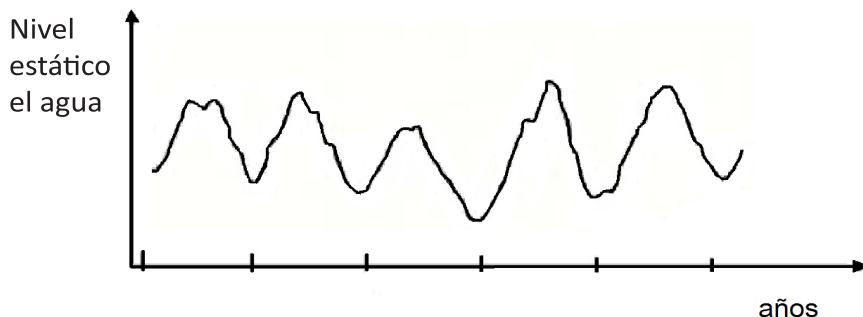


Figura 12. Explotación sostenible de agua subterránea. El nivel estático se mantiene constante a través de los años.

Para que la explotación sea sostenible, lo ideal sería que el nivel estático se mantenga constante en el tiempo (Figura 12). Por ejemplo, si en mayo del año 2005 en cierto pozo fue registrado un nivel estático de 45 m de profundidad, lo que se espera es que en el mismo mes de cualquier año (por ejemplo el 2015), se obtenga un nivel estático similar. Aunque siempre existirá cierta variación de los niveles estáticos de año en año, ya que estos niveles estarán relacionados a la recarga, que a su vez dependerá de la precipitación específica de cada año (año lluvioso o seco), en el largo plazo no deberían haber cambios significativos.



Figura 13. Medición del nivel estático en un pozo de observación

La medición de niveles estáticos requiere establecer una red de observación de pozos, en los cuales se mide periódicamente la fluctuación de niveles. Ello no sólo facilita evaluar las condiciones de explotación del acuífero, sino también ayuda a entender donde están ubicadas las áreas de recarga y descarga natural, así como sus respectivas dinámicas a lo largo del año y entre diferentes años (Figura 13).

EFFECTOS DE LA SOBREEXPLOTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ABANICO DE PUNATA

Balance de agua en el Abanico de Punata

De los diversos estudios realizados se puede concluir que en el Abanico de Punata existe un creciente déficit de agua subterránea, lo que significa que se está extrayendo más agua de la que entra por recarga. Esta situación no es sostenible, ya que se están extrayendo los “ahorros” de miles de años, y si el nivel freático sigue disminuyendo, ya no se dispondrá de acuíferos someros (poco profundos) y cada vez las extracciones de agua subterránea serán a mayor profundidad. A raíz de la sobreexplotación de agua subterránea en el Abanico de Punata se identificaron los siguientes problemas:

- **Descenso de niveles freáticos**

En los estudios realizados por el Centro AGUA, se registró un descenso de 15 metros en 13 años (1998 -2011) en el sector de K'uchu Punata, lo que representa un descenso promedio de 1.15 m por año. Lo anterior también es corroborado por un estudio reciente realizado en el pozo San Pedro de la comunidad Wasa Mayu Grande, el cual ha registrado un descenso de 17 m en 12 años (2002-2014), lo cual en promedio representa un descenso anual de 1,4m (Figura 14).

- **Reducción de caudales**

En investigaciones efectuadas a mediados de los años 90 en la zona central del Abanico de Punata (Durán, 1997), los caudales extraídos de pozos para riego fluctuaban entre 10 y 20 l/s. Actualmente, en las mismas zonas, los caudales no sobrepasan los 10 l/s. Es importante remarcar que la disminución de caudales en los pozos no solo se debe al descenso del nivel freático, sino

también al envejecimiento de los pozos, especialmente por la oxidación y el taponamiento de los filtros del pozo. Sin embargo, en los pozos nuevos, los caudales de operación son bastante menores que los que se extraían años atrás, lo cual es un indicador de que está ocurriendo la sobreexplotación de los acuíferos.

Analizando el caso del pozo San Pedro ubicado en la comunidad Wasamayu Grande, año 2002 se registró un caudal de 13 l/s, mientras que para el año 2014 se determinó un valor de 6 l/s, esto significa que hubo una disminución de caudal de 7 l/s en 12 años (Figura 14).

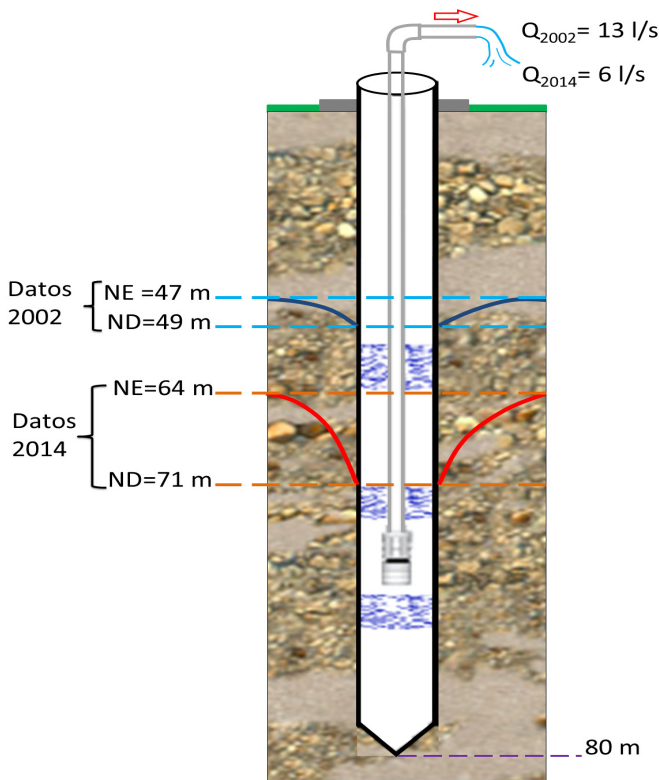


Figura 14. Descenso del nivel estático y caudales entre 2002 y 2014 en el pozo San Pedro

- **Hundimiento de tierras (*Oqhoris*)**

Los *Oqhoris* o hundimiento de tierras, se han vuelto habituales en diversas zonas de los Valles, y se producen por la excesiva extracción de agua de acuíferos, hasta que quedan los poros vacíos, y por tanto, sin suficiente fortaleza estructural para soportar el peso del terreno (Figura 15).



Figura 15. *Oqhori* o hundimiento de tierras en la zona sur de Punata



Figura 16. Asentamiento de tierra en el pozo San Juan de Aragón, México (1936-2005)

Por la excesiva extracción de agua subterránea en otros países como México, los asentamientos de la superficie del suelo han sido más catastróficas como se puede observar en la Figura 16, en 69 años el terreno se hundió aproximadamente 7 metros.

ACCIONES ORIENTADAS A LA SOSTENIBILIDAD DE LA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

Dada la magnitud de los problemas de sobre-explotación de aguas subterráneas, es necesario pensar en medidas tendientes a mejorar la gestión de las aguas subterráneas. En las siguientes líneas se describen algunos tipos de acciones orientadas a lograr un mejor balance entre la extracción y la disponibilidad de agua subterránea:

Mejora de la oferta de agua subterránea.

- **Recarga artificial de acuíferos.**

Aunque no existen experiencias en el país sobre procesos de recarga artificial de aguas subterráneas, puede ser interesante aprovechar las experiencias de otros países, como las *Amunas* del Perú, e instalar sitios piloto en el margen de los ríos para facilitar por diversos medios e infraestructura hidráulica apropiada, una mayor infiltración de aguas subterráneas en dichos sectores, de modo que se incremente la recarga de agua.

- **Incremento de los flujos de agua en Punata.**

Dependería de la oportunidad de nuevos proyectos que incrementen la cantidad de agua que fluye hacia Punata. Por ejemplo, el aumento en los volúmenes de embalse ya sea por mejoras en las redes de aducción, o por nuevos proyectos, como Yungas de Vandiola, podrían tener un importante efecto en aumentar la recarga de acuíferos en el abanico de Punata

Mejora de la gestión de aguas subterráneas.

En este ámbito hay una diversidad de acciones que pueden considerarse. Por ejemplo:

- **Tecnificación de sistemas hídricos.**

El paso de sistemas de riego superficial a riego presurizado puede representar importantes ahorros de agua, de modo que con la misma cantidad actual podrían regarse mayores extensiones, sin incrementar la demanda de agua. Esto debería ir acompañado de cambios en las prácticas habituales de riego y cultivo. Lo propio se puede pensar en sistemas de consumo doméstico, en los cuales se realicen innovaciones técnicas orientadas a usar de forma más eficiente y efectiva el agua, y propender en lo posible a formas adicionales de almacenamiento (aljibes por ejemplo) y al reuso de aguas grises.

- **Normativa para regular la perforación de pozos y las tasas de uso.**

A la fecha, existe una normativa basada en las distancias mínimas que deberían existir entre pozos. Esta normativa no responde a ningún criterio técnico o hidrogeológico y tampoco es respetada por los pobladores, quienes siguen perforando pozos indiscriminadamente. Por tanto, se requiere una normativa que esté sustentada en información fehaciente sobre las condiciones hidrogeológicas del acuífero, y que sea políticamente acordada entre los actores sociales. Requiere asimismo el reconocimiento de una Autoridad en temas de agua, que ejerza de forma efectiva sus competencias para la planificación y el control de la explotación de aguas subterráneas.

Estas posibles acciones requieren por tanto de esfuerzos conjuntos desde varios sectores de la sociedad, como ser:

- Investigación sobre aguas subterráneas, que puede ser realizada por las Universidades, en coordinación con los actores locales,
- Fortalecimiento institucional del Gobierno Municipal para enfrentar tales desafíos,

- Desarrollo de capacidades en las organizaciones de usuarios,
- Mayor conciencia ambiental en la población,
- Reorientación de las políticas de inversión en el sector hídrico, privilegiando obras y tecnología para la gestión de la demanda, es decir, mejorar el uso de las aguas actualmente disponibles, en vez de enfocar las inversiones en nuevas captaciones.

En última instancia, tendrá que ser la gente, pensando no sólo en el presente, sino en el futuro de sus hijos, la que tenga la palabra decisiva, si no se quiere llegar a circunstancias desastrosas para la Madre Tierra y la Economía de la región.

BIBLIOGRAFIA

- Custodio, G. 1998. Recarga a los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evolución y la incertidumbre. Boletín Geológico y Minero
- Durán, A. (1997). Criterios campesinos en el proceso de diseño e implementación de sistemas de riego con agua subterráneas en el Valle de Punata. Wageningen.
- Hernández, C. (2013). Recarga del abanico aluvial de Punata. Real y Pontificia de San Francisco Xavier.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2003. Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual Técnico. Guatemala.
- Ortiz, J. (2013). Análisis del potencial hídrico subterráneo , en la zona de K'uchu Punata, mediante modelación con Visual Modflow. Católica Boliviana San Pablo.