

# RENDIMIENTO SOSTENIBLE

## del agua subterránea



Ing. CIR. Víctor M. Ponca

### RESUMEN

En la naturaleza, el agua superficial y el agua subterránea están relacionadas. El agua superficial es totalmente renovable, usualmente en unos días o semanas, mientras que el agua subterránea no es totalmente renovable, pudiendo tomar décadas, siglos, o aún más. El agua superficial dulce es escasa, particularmente cuando se compara con los grandes volúmenes de agua subterránea dulce que se conoce existen debajo de la superficie. La tendencia actual es a utilizar el agua subterránea para resolver los problemas de escasez de agua superficial. ¿Hasta qué punto pueden ser explotados los recursos de agua subterránea sin comprometer el principio de desarrollo sostenible?

**Palabras clave:** Sostenibilidad, rendimiento, aguas subterráneas.

#### 1. RENDIMIENTO SEGURO Y RENDIMIENTO SOSTENIBLE

Vamos a comparar los conceptos del rendimiento seguro y rendimiento sostenible.

El rendimiento seguro se define como el mantenimiento de un equilibrio a largo plazo entre la cantidad de agua subterránea extraída y la recarga del acuífero.

Esta definición no considera los derechos de los usuarios del agua superficial (flujo de base) y de los ecosistemas que dependen del agua subterránea. El rendimiento sostenible reserva una fracción del rendimiento seguro para beneficio de las aguas superficiales y los ecosistemas dependientes del agua subterránea.

No existe un consenso en cuanto a qué porcentaje del rendimiento seguro debe constituir el rendimiento sostenible.

#### 2. ESCENARIOS

- Un sistema prístino, en equilibrio o flujo permanente, en ausencia de bombeo;
- Un sistema desarrollado, en equilibrio o flujo permanente, con bombeo moderado a una profundidad constante; y
- Un sistema abatido, en desequilibrio o flujo transitorio, con bombeo intensivo a una profundidad cada vez mayor.

#### 3. DEFINICIÓN DE RENDIMIENTO SOSTENIBLE

Una definición de rendimiento debe:

- Entender los efectos locales, subregionales, y regionales.
- Desarrollar un balance hídrico conceptual detallado.
- Entender los límites físicos del sistema.
- Considerar las sequías e inundaciones.
- Entender las necesidades humanas de agua y su naturaleza cambiante.
- Considerar los cambios de percepción en la sociedad.
- Trabajar con los actores locales para desarrollar consenso.
- Reconocer la naturaleza interdisciplinaria del uso del agua subterránea.

#### 4. RESUMEN DE CONCEPTOS

- Toda el agua subterránea está en tránsito de un lugar de recarga a un lugar de descarga.
- Las determinaciones de rendimiento sostenible deben satisfacer las necesidades del flujo de base y de los ecosistemas dependientes del agua subterránea.
- La recarga artificial debe ser fomentada en áreas donde el agua subterránea se está desarrollando activamente o se está abatiendo.
- Ciertas actividades económicas tales como la deforestación, el sobrepastoreo, el sobrecultivo, y el desarrollo urbano representan una recarga artificial "negativa".
- Las determinaciones de rendimiento sostenible deben comprender la síntesis interdisciplinaria de la hidrología del agua superficial, ecología, geología, y climatología.



**Figura 1.** Recarga y descarga en sistemas de agua subterránea: (a) prístino, (b) desarrollado, (c) abatido.

#### 4. ANÁLISIS

El rendimiento sostenible no depende del tamaño, profundidad, o características hidrogeológicas del acuífero.

El rendimiento sostenible depende de la cantidad de captura, y si esta cantidad es socialmente aceptable. En la práctica, el rendimiento sostenible se puede tomar como un porcentaje apropiado de la precipitación.

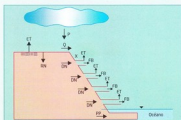
Un estimado razonablemente conservador tomaría toda la percolación profunda como rendimiento sostenible.

Sobre una base global, la percolación profunda es cerca del 2% de la precipitación.

En ausencia de estudios en cuencas específicas, este valor se puede tomar como punto de partida en el cual basar las determinaciones de rendimiento sostenible.

También se puede expresar el rendimiento sostenible como un porcentaje de la recarga. Globalmente, si la recarga se asume como aproximadamente un 20% de precipitación, entonces la percolación profunda sería el 10% de la recarga. Por lo tanto, una estimación razonablemente conservadora del rendimiento sostenible sería el 10% de la recarga.

Un depósito de agua subterránea es esencialmente un envase geológico natural poroso (Fig. 2). En la naturaleza, la precipitación  $P$  se separa en escurrimiento ( $Q$ ), evaporación y evapotranspiración ( $ET$ ), y



**Figura 2.** Modelo geométrico de un reservorio de agua subterránea

la recarga natural ( $RN$ ). Toda la recarga natural eventualmente fluye hacia fuera como descarga natural ( $DN$ ) o percolación profunda ( $PP$ ), en las varias escalas espaciales, de cuencas pequeñas a grandes. La descarga natural puede retornar a la atmósfera vía evaporación y evapotranspiración ( $ET$ ), o al océano vía flujo de base ( $FB$ ). Cuanto más profunda es el agua subterránea, mayor es la escala espacial de la descarga natural, de la escala local a la regional.

#### 5. SOBRE USO DE AGUA SUBTERRÁNEA

El Sobre bombeo causa disminución del nivel freático que puede causar colapso de Acuíferos, en zonas costeras Intrusión Marina, en grandes áreas puede causar subsidencia de tierras (hundimiento), como se puede apreciar en la figura siguiente.



**Figura 3.** Subsidencia de Tierras

#### 6. APLICACIONES EN EL ALTIPLANO

- Algunos casos de sobre bombeo se pueden apreciar en la ciudad de Juliaca, donde indiscriminadamente se han construido pozos tubulares de bombeo, los que la mayoría no son autorizados por la autoridad correspondiente.
- Estos pozos a larga traerán disminución permanente del nivel freático que podría provocar subsidencia de los terrenos afectando a las edificaciones de gran altura, entre otras consecuencias.

#### 7. CONCLUSIONES

- Todos los depósitos de agua subterránea están sosteniendo temporalmente agua, en tránsito de un lugar de recarga a un lugar de descarga.
- Un depósito prístino de agua subterránea está en estado de flujo permanente, con las entradas iguales a las salidas.

- Todo el bombeo de agua subterránea proviene de captura.
- Cuanto mayor es la intensidad del bombeo, mayor es la captura.
- La captura proviene de disminuciones en la descarga natural y aumentos en la recarga del acuífero.
- La descarga natural apoya a los ecosistemas riparios, humedales, y otros ecosistemas dependientes del agua subterránea, y el flujo de base de las corrientes de agua y ríos.
- El concepto tradicional de rendimiento seguro, que iguala el rendimiento seguro con la recarga natural, está errado.
- El rendimiento sostenible depende de la cantidad de captura, y si esta cantidad se puede aceptar socialmente.
- La captura depende del uso y no se relaciona con el tamaño o las características hidrogeológicas del acuífero, o con la recarga natural.
- Una estimación razonablemente conservadora del rendimiento sostenible toma toda la percolación profunda.
- Sobre una base media global, la percolación profunda es cerca del 2% de la precipitación.
- El rendimiento sostenible puede también expresarse como un porcentaje de la recarga.
- Los valores medios están alrededor del 40%, con los valores menos conservadores alrededor del 70%, y los más conservadores alrededor del 10%.
- Algunas comunidades están comenzando a considerar la conservación del flujo de base como el estándar contra el cual se ha de medir la sostenibilidad del agua subterránea.
- La sostenibilidad refleja la política de conservación del recurso; cuanto más conservadora es la política, es probable que sea más sostenible.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ponce, V. M. (2007). Rendimiento Sostenible del Agua Subterránea.  
<http://ponce.sdsu.edu/rendimiento.html>
2. Todd D. K., Mays L.W. (2005) Groundwater Hydrology John Wiley & Sons, USA

## EVENTOS REALIZADOS

**COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ**  
CONSEJO DEPARTAMENTAL PUNO  
Comité Provincial San Ramón

**“Seguridad Eléctrica”**

**Conferencia**

**Dirigido A:**  
• Ingenieros  
• Estudiantes  
• Público en General.

**Temas:**  
• Análisis de riesgo  
• Cálculo de probabilidad  
• Inspecciones técnicas  
• Planes de seguridad  
• Análisis de causas  
• Ley 8180  
• Cálculo de confiabilidad  
• Inspección visual  
• Inspección de mantenimiento  
• Inspección de protección

**FECHA:** 21 de Mayo del 2013  
**HORA:** 16:00 a 20:00 p.m.  
**FECHA:** 24 de Mayo del 2013  
**HORA:** 16:00 a 20:00 p.m.

**INSCRIPCIONES:**  
• \$ 100.00 (Ingeniero)  
• \$ 50.00 (Estudiante)  
• \$ 20.00 (Público)

**UBICACIÓN:** Comité Provincial San Ramón  
Av. Puno 107-105 Puno - Perú  
Teléfono: 051-020188

**CONTACTO:** 051-020188 a 1700 p.m. a 1700 p.m. a 1700 p.m.

**ORGANIZADO POR:** COMITÉ PROVINCIAL SAN RAMÓN  
SECRETARÍA: 051-020188  
COORDINADOR: 051-020188

**COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ**  
CONSEJO DEPARTAMENTAL PUNO  
Comité Provincial San Ramón

**Conferencia**

**“EL GASODUCTO SUR PERUANO Y EL DESARROLLO DE LA REGIÓN PUNO”**

**Dirigido A:**  
• Ingenieros  
• Estudiantes  
• Público en General.

**FECHA:** 17 de Mayo 2013  
**HORA:** 16:00 a 20:00 p.m.  
**LUGAR:** Auditorio CIP CD Puno  
**INSCRIPCIÓN:** S/. 50.00

**Ponente:**  
Ing. Anselmo Gamero Márquez