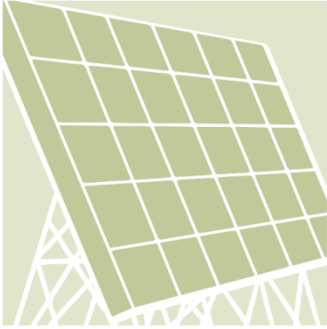


POWERING  
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE  
FOR DEVELOPMENT



# Módulo 3: Salvaguarda el agua

La publicación de la Caja de herramientas de sistemas de riego solar ha sido posible gracias al apoyo brindado por la iniciativa mundial *Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development* (PAEGC) (Energización Rural: Un gran desafío energético para el desarrollo). En 2012, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Sida), el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, la empresa de energía Duke Energy Corporation y la Corporación de Inversiones Privadas en el Extranjero (OPIC) juntaron recursos para crear la iniciativa PAEGC. El objetivo de PAEGC es fomentar nuevos enfoques sostenibles con el fin de acelerar el desarrollo y asegurar el establecimiento de energías limpias que incrementen la productividad y/o el valor de la agricultura en países en desarrollo y regiones emergentes sin acceso a fuentes de energía confiables, asequibles y limpias.

#### Publicado por

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, por encargo del BMZ como socio fundador de la iniciativa mundial *Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development* (PAEGC), y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

#### Responsable

Proyecto de la GIZ *Sustainable Energy for Food – Powering Agriculture* (Energía sostenible para la alimentación - Energía para la agricultura)

#### Contacto

[Powering.Agriculture@giz.de](mailto:Powering.Agriculture@giz.de)

#### Descargar

[https://energypedia.info/wiki/Toolbox\\_on\\_SPIS](https://energypedia.info/wiki/Toolbox_on_SPIS)

#### Acerca de

*Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development*. <https://poweringag.org>

#### Versión

1.0 (marzo de 2018)

#### Descargo de responsabilidad

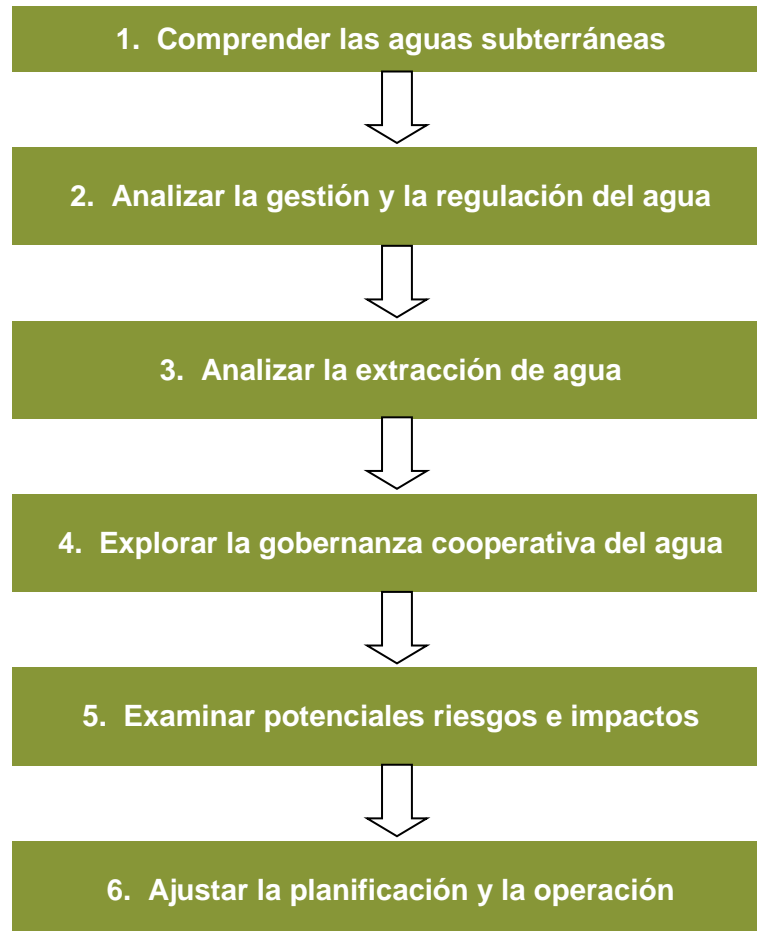
Las denominaciones empleadas y la presentación del material en este producto informativo no implican juicio alguno de parte de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), o los socios fundadores de la iniciativa PAEGC, sobre la condición jurídica o el grado de desarrollo de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la GIZ, la FAO o alguno de los socios fundadores de la iniciativa PAEGC los aprueben o recomienden, dándoles preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan. Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es) o autora(s), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o las políticas de la GIZ, la FAO o ninguno de los socios fundadores de la iniciativa PAEGC.

La GIZ, la FAO y los socios fundadores de la iniciativa PAEGC fomentan la utilización, la reproducción y la difusión del material presentado en este producto informativo. A menos que se indique lo contrario, el material puede ser copiado, descargado e impreso con fines de estudio privado, enseñanza e investigación científica, o para su utilización en productos o servicios no comerciales, siempre que se otorgue a la GIZ y la FAO el debido reconocimiento como fuentes y como titulares de los derechos de autor.

## ABREVIATURAS

Ah	amperio hora
CA/CC	corriente alterna / corriente continua
CEM	condiciones estándar de medida
CT	coeficiente de temperatura
CWR	Crop Water Requirement (necesidades de agua de los cultivos, siglas en inglés)
ET	evapotranspiración
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, siglas en inglés)
FV	fotovoltaico
Gd	Daily Global Irradiation (radiación global diaria, siglas en inglés)
GIWR	Gross Irrigation Water Requirement (necesidades brutas de agua de riego, siglas en inglés)
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GPFI	Global Partnership for Financial Inclusion (Alianza Mundial para la Inclusión Financiera, siglas en inglés)
HERA	Programa de la GIZ “Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza”
H <sub>r</sub>	Total Head (altura total, siglas en inglés)
IEC	International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional, siglas en inglés)
IFC	International Finance Corporation (Corporación Financiera Internacional, siglas en inglés)
IWR	Irrigation Water Requirement (necesidades de agua de riego, siglas en inglés)
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
MPPT	Maximum Power Point Tracking (seguimiento del punto de máxima potencia, siglas en inglés)
NIWR	Net Irrigation Water Requirement (necesidades netas de agua de riego, siglas en inglés)
ONG	organización no gubernamental
PVP	Photovoltaic Pump (bomba fotovoltaica, siglas en inglés)
SAT	Site Acceptance Test (prueba de aceptación in situ, siglas en inglés)
SPIS	Solar Powered Irrigation System (sistema de riego solar, siglas en inglés)
TIR	tasa interna de retorno (o de rentabilidad)
UV	ultravioleta
VAN	valor actual neto
V <sub>d</sub>	Daily crop water requirement (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

## SALVAGUARDA EL AGUA



## OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

El módulo **SALVAGUARDA EL AGUA** tiene por objetivo introducir en la gestión del agua subterránea y en los principios de la gestión sostenible del agua. Examina, además, los riesgos e impactos relacionados con la sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos. Con ello se pretende sensibilizar a los planificadores y planificadoras y a futuros usuarios y usuarias de SPIS respecto de la utilización responsable y sostenible de las fuentes de agua, que en la mayoría de los casos han de compartirse con agricultores y agricultoras u otros usuarios y usuarias vecinos. Finalmente, el presente módulo ofrece orientaciones prácticas para integrar la gestión del agua en la planificación y la operación de SPIS.

El crecimiento demográfico y el aumento del nivel de vida, la expansión de la producción agrícola a tierras áridas y marginales y los impactos del cambio climático vienen a incrementar las necesidades adicionales de alimentos, energía y agua. Por su buena viabilidad financiera, los sistemas de riego con energía solar (SPIS) pueden sustituir las opciones de extracción y bombeo de agua convencionales con miras a ahorrar energía e incrementar la producción agrícola. Los gobiernos y los organismos de desarrollo internacionales apoyan la implementación de SPIS por las ventajas que estos ofrecen:

- El uso de energía verde renovable es neutral en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub>, no produce gases de efecto invernadero, y por tanto no contribuye al cambio climático;
- Se pueden vender certificados de CO<sub>2</sub> a los usuarios de energía fósil;
- La energía solar descentralizada no depende de infraestructuras de redes de energía ni de suministros regulares

de combustible, lo que la hace interesante sobre todo para las zonas rurales menos desarrolladas;

- El riego solar permite desarrollar la agricultura en zonas consideradas no aptas o no rentables para esta actividad, y contribuye por tanto a incrementar la producción de alimentos y la seguridad alimentaria.

Los importantes obstáculos financieros que los bajos costos del gasóleo o la electricidad venían imponiendo al riego solar están cayendo. Los SPIS ahorran los costos variables de la producción de energía, reduciendo de tal modo el atractivo de otras tecnologías y pautas de cultivo eficientes en cuanto al uso de agua. La tecnología de SPIS está cobrando auge, al tiempo que la extracción de agua superficial y subterránea para su utilización en la agricultura va en aumento en todo el mundo, excediendo a menudo la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos renovables. En la India, por ejemplo, se considera que alrededor del 30 % de los acuíferos está en una situación crítica<sup>1</sup>. A nivel global, la extracción de agua subterránea no renovable contribuye a satisfacer cerca del 20 % de la demanda bruta de agua de riego<sup>2</sup>. En algunos casos, la agricultura de riego se practica incluso mediante la explotación de aguas subterráneas fósiles que no son en absoluto renovables.

Así pues, los SPIS podrían causar o agravar la sobreexplotación de unos recursos hídricos limitados, dando lugar a varios efectos secundarios sobre el medio ambiente, la economía y la sociedad, tales como:

- La inseguridad en la disponibilidad de agua por el secado de pozos y manantiales aumenta el riesgo de pérdida de las cosechas;

<sup>1</sup> Fuente: Central Ground Water Board of India 2014. Dynamic ground water resources of India as of 2011. Faridabad.

<sup>2</sup> Valores de 2000, según Wada et al. 2012. Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment. En: Water Resources Research 48, W00L06.

- Salinización de los acuíferos e intrusión de agua marina con repercusiones a largo plazo para la productividad agrícola;
- Aumento del riesgo de conflictos entre los diferentes usuarios y usuarias (p. ej., agricultores y agricultoras, proveedores de agua doméstica, usuarios y usuarias industriales);
- Impactos ambientales en los ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas, tales como el desecamiento de humedales y el flujo de base de los ríos.

El riego requiere integrar los principios de la gestión sostenible del agua, especialmente en los países destinatarios en que la regulación y la protección de las aguas subterráneas son débiles o incluso inexistentes. Por ello, el presente módulo pretende sensibilizar a los desarrolladores y desarrolladoras de SPIS respecto de los procesos fundamentales de la utilización y la regulación de las aguas subterráneas. La utilización sostenible de las aguas subterráneas está en el propio interés de los agricultores y agricultoras y las partes interesadas en el desarrollo de la agricultura con energía solar. Ello incluye el cumplimiento estricto de los mecanismos de regulación y control del agua, tal como se expone con mayor detalle en los próximos apartados.

El agua es uno de los recursos naturales más vitales para la agricultura. La conservación y la protección del agua, así como su uso y gestión sostenibles, representan un desafío global del siglo XXI.



**El agua limpia es un recurso vital**

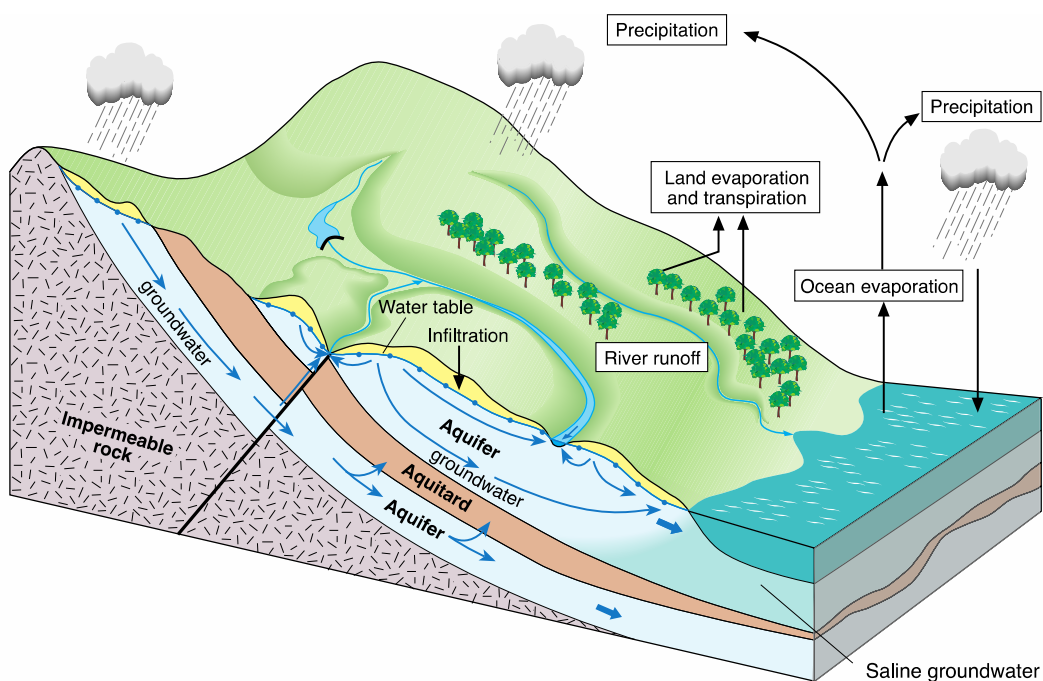
(Fuente: Federal Institute for Geosciences and Natural Resources [BGR], Alemania)

## 1. COMPRENDER LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

### Las aguas subterráneas dentro del ciclo hidrológico

Los SPIS se basan en la extracción de agua subterránea de pozos abiertos o entubados. Por lo tanto, es necesario comprender los sistemas de agua subterránea para poder gestionarlos de forma sostenible. El agua subterránea es el agua presente bajo tierra en grietas y poros de sustratos arenosos y rocosos llamados acuíferos. Los acuíferos almacenan grandes cantidades de agua subterránea, y por tanto hacen las veces de importantes reservorios con efecto amortiguador dentro del ciclo hidrológico (v. figura más abajo).

Las aguas subterráneas se recargan naturalmente con las precipitaciones y la infiltración de ríos y lagos. El movimiento del agua subterránea de las zonas de recarga a las de descarga del acuífero a través de manantiales y filtraciones a ríos, lagos, humedales y zonas costeras se denomina “flujo del agua subterránea”. El flujo natural del agua subterránea ocurre por lo general a velocidades bajas y a través de los poros y fisuras de materiales rocosos. Dependiendo de la composición geológica del acuífero, la velocidad de flujo del agua varía de 1 metro por día a 1 metro por año o por década. En contraste, las velocidades de flujo de los ríos son mucho mayores y se expresan en metros por segundo. Los niveles de las aguas subterráneas pueden experimentar variaciones estacionales y anuales. Son altos después de la estación húmeda, y bajos al final de la estación seca.



El ciclo hidrológico

(Fuente: BGR)

## Equilibrio de las aguas subterráneas

En condiciones naturales, el almacenamiento de agua subterránea dentro del acuífero se mantiene en equilibrio. En las estaciones húmedas, el acuífero se recarga y proporciona

agua para el flujo de base de ríos, lagos y humedales a lo largo del año. Este equilibrio puede verse alterado por intervenciones humanas capaces de afectar tanto a las cantidades de recarga como a las de descarga.

### Actividades agrícolas importantes que influyen en el equilibrio de las aguas subterráneas

Recarga		
Actividad agrícola	Proceso	Ejemplos de medidas reguladoras
Uso de la tierra	El sellado del suelo acelera la escorrentía superficial a expensas de la infiltración del agua pluvial y superficial, mientras que un aumento de la cubierta vegetal retarda la escorrentía y favorece la infiltración.	Planificación del uso de la tierra que propicie la infiltración local de agua pluvial
Elección de cultivos	Cada cultivo tiene efectos diferentes en la humedad del suelo y la escorrentía superficial, por lo que la elección de los cultivos influye en la cantidad de agua pluvial que se infiltra en el suelo, y, por tanto y en especial, en la recarga de las aguas subterráneas poco profundas.	Prescripción de los cultivos y las pautas de plantación
Compactación del suelo	Debido a las condiciones naturales de secado y humectación, el tránsito de maquinaria pesada y las prácticas de labranza inadecuadas, la capa arable y el subsuelo resultan compactados, y la recarga de las aguas subterráneas disminuye.	Regulación de las prácticas de labranza y el uso de maquinarias
Riego excesivo	El riego puede ser por sí mismo un factor importante, dado que el agua de riego aplicada en exceso puede infiltrarse y recargar las aguas subterráneas.	Buena programación del riego y técnicas apropiadas



## Descarga

### Extracción de agua subterránea

El bombeo de agua subterránea desde pozos hace descender el nivel freático.

Cuotas de extracción de aguas subterráneas; expedición de licencias para pozos perforados

Al objeto de mantener las aguas subterráneas en equilibrio, y poder planificar su uso, la gestión sostenible de las aguas subterráneas debe basarse en la capacidad de recarga de la cuenca. Esta capacidad se denomina “rendimiento sostenible” (también “rendimiento [o caudal] seguro”) de un sistema de aguas subterráneas, y designa la cantidad de agua que puede extraerse sin causar perjuicios a los ecosistemas y las comunidades que dependen de él. Para determinar el rendimiento sostenible es importante cuantificar la recarga de las aguas subterráneas.

Dado que los procesos de recarga son complejos y dependen de numerosos procesos hidrogeológicos, las autoridades y gestores o gestoras responsables de los recursos hídricos deben contar con datos de la mayor exactitud posible sobre los siguientes aspectos:

- Extracción total de agua subterránea debida a las actividades humanas (bombeo) y manantiales naturales.
- Siempre que sea posible, la estimación de la descarga debe basarse en registros de volúmenes bombeados y mediciones de la descarga a través de manantiales.
- Para estimar la recarga se necesitan datos de alta resolución sobre las precipitaciones, la evapotranspiración y la escorrentía. Se deben tener en cuenta, además, datos hidrogeológicos sobre el flujo de las

aguas subterráneas y las características del almacenamiento subterráneo (p. ej., datos derivados de pruebas de bombeo).

- El cartografiado del uso de la tierra y la vegetación/cultivos de la cuenca de aguas subterráneas ayudan a cuantificar con mayor exactitud las variables de evapotranspiración y escorrentía.
- Dependiendo de los datos y recursos disponibles, la recarga puede estimarse mediante fórmulas estándar y conocimientos expertos, o también recurriendo a modelos hidrológicos (informáticos) más avanzados.

En algunos casos, las aguas subterráneas pueden ser sometidas a una recarga artificial, lo que implica una infiltración técnica planificada de agua en los cuerpos de agua subterránea. Algunas comunidades progresistas están practicando la recarga artificial de sus acuíferos al objeto de conservar sus recursos hídricos subterráneos. Por ejemplo, en la región del Terai, en el norte de Bengala (India), comités de agricultores y agricultoras locales han taponado torrenteras y construido caballones o lomos para retener el agua pluvial e incrementar la recarga de las aguas subterráneas. Con ello han estabilizado las capas freáticas y reducido los impactos de los periodos de sequía en los cultivos de arroz de secano (arroz cáscara). Así, pudo duplicarse la intensidad de cultivo y mejorar el

rendimiento de las cosechas y los ingresos de los agricultores y agricultoras<sup>3</sup>.

### **Sobreexplotación de las aguas subterráneas**

Si la extracción es mayor que la recarga a largo plazo, el nivel de las aguas subterráneas desciende en la región. Este proceso se denomina “sobreexplotación”. En la práctica, sin embargo, la sobreexplotación se asocia invariablemente mucho más con las consecuencias de la extracción intensiva de agua subterránea que con su nivel absoluto. Así, la definición más apropiada de sobreexplotación es probablemente la que sostiene que ésta se da cuando los costos globales de los impactos negativos de la explotación de las aguas subterráneas exceden los beneficios netos de su utilización, aunque estos impactos no siempre sean fáciles de predecir y/o cuantificar en términos monetarios. También es importante subrayar que algunos de estos impactos negativos pueden darse bastante antes de que el ritmo de extracción de aguas subterráneas exceda el de su recarga media a largo plazo.

**Importante:** Un bombeo excesivo puede llevar al agotamiento de las aguas subterráneas. Ello implica que el ritmo de extracción de agua subterránea es mayor que el de reposición. El agotamiento de acuíferos puede dar lugar a la pérdida de ecosistemas y humedales, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, el hundimiento de tierras y conflictos sociales con otros usuarios y usuarias de agua.

---

<sup>3</sup> Tuinhof et al. 2012. Profit from storage. The cost and benefits of water buffering. Wageningen: 3R Water Secretariat.

El bombeo de agua subterránea causa un descenso del nivel de la capa freática. El nivel de la capa freática es la superficie de la zona saturada de agua subterránea. Cuando se bombea agua subterránea, el nivel de la capa freática desciende en los alrededores del pozo. En *acuíferos no confinados* aparecen conos de depresión que se forman

por el descenso de los niveles de agua (v. figura más abajo). En *acuíferos confinados*, esto es, en los que están cubiertos por una capa geológica de escasa permeabilidad (acuitardo o acuícluido), la presión en los alrededores del pozo bombeado se reduce cuando se extrae agua.

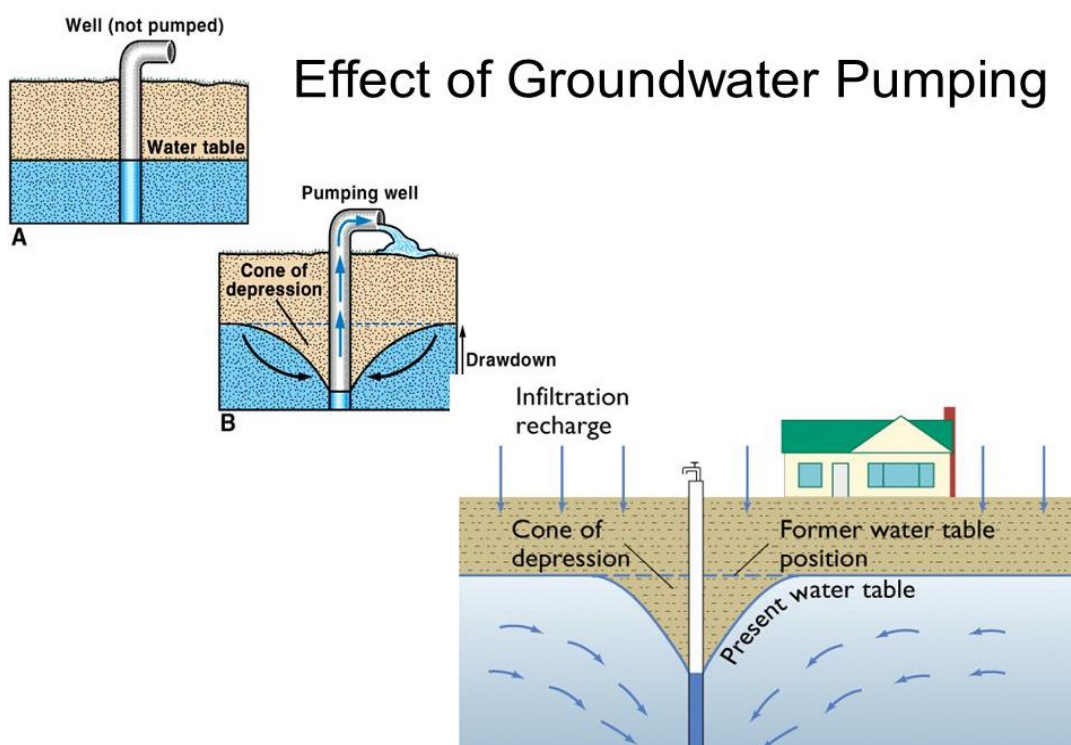


Figura: Efecto del bombeo de agua subterránea  
(Fuente: Thomas V. Cech)

### **Interferencia entre pozos**

Cuando dos conos de depresión se superponen, se dice que hay interferencia entre los pozos, con reducción del flujo de agua disponible para cada uno. La interferencia puede ser un problema cuando los pozos están muy próximos unos de otros y compiten por el agua del mismo acuífero, sobre todo si están a la misma profundidad.

### **Desconexión del flujo de agua subterránea del flujo de agua superficial**

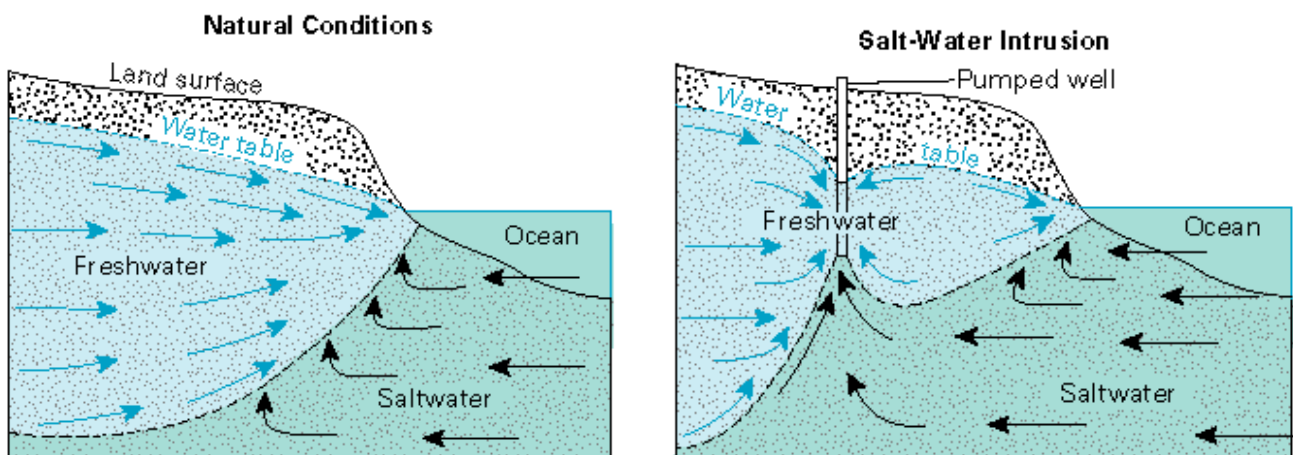
Los sistemas de agua subterránea y agua superficial están a menudo en estrecha interacción. Las aguas subterráneas aportan el flujo de base de los ríos, incluso en periodos de sequía, y abastecen los ecosistemas de agua dulce. Cuando las aguas subterráneas se bombean en exceso, las descargas en forma de manantiales, flujos de base e infiltración tienden a agotarse, a veces de manera permanente. También se ven perjudicados los ecosistemas dependientes del agua

subterránea, y se reduce la disponibilidad de esta agua para las comunidades de usuarios y usuarias.

### Salinización de las aguas subterráneas

Una grave amenaza asociada al bombeo excesivo es la salinización de las aguas subterráneas. Esta se da por el ascenso vertical, en forma de cono, de agua salina, que se mezcla con el agua dulce y da lugar a una salinización irreversible del acuífero. El agua salina puede proceder de la movilización de aguas paleosalinas o

connatas de capas más profundas. Se debe prestar especial atención en las zonas costeras, dado que el agua salada del mar puede penetrar en las zonas de agua dulce del acuífero. La figura de más abajo ofrece una visión simplificada del proceso de intrusión de agua marina, el cual puede impedir durante décadas la utilización del agua subterránea con fines agrícolas.



### Salinización de las aguas subterráneas

(Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) – <https://pubs.usgs.gov/gip/gw/images/Intrusion.gif>)

### Importancia de la gestión sostenible

A pesar de los riesgos mencionados, las aguas subterráneas, gestionadas de manera sostenible, siguen siendo el recurso de máxima importancia para la agricultura, la seguridad alimentaria y los medios de vida rurales. En muchas regiones, es relativamente fácil acceder a este recurso y explotarlo, y aún más si se dispone de un suministro de energía solar descentralizado. En las regiones con escasez de agua, las aguas subterráneas tienen potencial para amortiguar las sequías e incrementar la producción agrícola, dado que son menos sensibles a la variabilidad y el cambio climático que las aguas superficiales.

Pero los usuarios y usuarias de aguas subterráneas y por tanto los agricultores y agricultoras que operan un SPIS, comparten la responsabilidad de gestionar los recursos

hídricos de manera sostenible. Aparte de eso, los agricultores y agricultoras que manejan un SPIS y quieren seguir sacando provecho a largo plazo de las aguas subterráneas son los primeros interesados en evitar la sobreexplotación del acuífero y los consiguientes conflictos socioeconómicos y legales. Para los agricultores y agricultoras, ello implica asumir responsabilidades y deberes de crucial importancia; entre ellos:

- Cumplimiento del marco legal y normativo para la obtención de derechos y permisos de usuario y usuaria, así como de las condiciones y cantidades que se establecen en ellos;
- De no existir una regulación del agua, los agricultores y agricultoras deberían abogar por el establecimiento de un marco normativo que les brinde

seguridad en lo que respecta a la planificación y la producción (véase paso 4);

- Seguimiento y documentación del uso del agua basado en derechos y permisos.

**Importante:** En consecuencia, todas las acciones relacionadas con los SPIS deben estar integradas en el marco legal y normativo vigente y en la planificación y seguimiento de la gestión local de los recursos hídricos/aguas subterráneas.

## 2. ANALIZAR LA GESTIÓN Y LA REGULACIÓN DEL AGUA

La gestión y la gobernanza sostenibles de las aguas subterráneas se basan en el concepto de la “gestión integrada de los recursos hídricos” (GIRH). Los tres pilares clave de la GIRH y de la sostenibilidad en general son:

- **Sostenibilidad del medio ambiente** – deben evitarse los impactos negativos tales como el deterioro de los acuíferos y de los ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas;
- **Eficiencia económica** - el agua es un bien esencial necesario para el consumo humano y para la producción agrícola e industrial;
- **Equidad social** – el acceso a recursos hídricos seguros es esencial para todos los seres humanos y es un derecho humano. Los sistemas transparentes y de derecho igualitario al agua permiten un acceso igualitario.

La sostenibilidad a largo plazo del uso de los recursos hídricos está en el interés de todos los usuarios y usuarias, también en el contexto de la disponibilidad de dichos recursos para inversiones de larga duración en el sector agrícola. Por tanto, todos los usuarios y usuarias deberían estar interesados en establecer un marco institucional eficaz que proteja los recursos hídricos y garantice la seguridad del agua destinada al riego. La planificación de la gestión del agua, y la regulación del agua, son partes esenciales de la administración pública de los recursos hídricos.

La **planificación de la gestión del agua** es llevada a cabo por lo general a nivel de cuencas por ministerios del agua u organizaciones de la cuenca. En el mejor de los casos, un plan de gestión del agua integra las necesidades de todos los sectores relevantes (agua potable, saneamiento, agricultura de regadío, industria, medio ambiente) atendiendo a los recursos disponibles y la demanda actual y futura. Además de la planificación hídrica, las autoridades agrícolas (p. ej., ministerios)

pueden formular también planes de desarrollo del riego en los que pueden definirse zonas y objetivos prioritarios para el desarrollo del riego.

“Gestión de los recursos hídricos” es la actividad de planificar, desarrollar, distribuir y administrar el uso de los recursos hídricos. La “gestión sostenible de los recursos hídricos” considera todas las demandas que compiten por el agua, y tiene por objeto asignar el agua de manera equitativa para satisfacer todos los usos y demandas. La observación de los principios del rendimiento sostenible de los acuíferos es la base en que se asienta la sostenibilidad a largo plazo del desarrollo y el uso de los recursos hídricos.

La **regulación de los recursos hídricos** se basa por lo general en la legislación nacional y en un conjunto de normas válidas e instituciones que vigilan el estado cuantitativo y cualitativo, así como el uso de los recursos hídricos, previenen su utilización excesiva y su contaminación y garantizan su distribución equitativa entre los diferentes usuarios y usuarias e intereses. En muchos lugares, las autoridades públicas del agua de diferentes niveles del Gobierno son las encargadas de supervisar los recursos hídricos. Basándose en las leyes sobre el agua y el medio ambiente, estas autoridades regulan el uso del agua; por ejemplo, mediante la asignación de derechos y permisos de agua para pozos e infraestructuras hídricas. En muchos países, son también instituciones no estatales, como las organizaciones de usuarios y usuarias del agua, las que regulan o autorregulan el uso del agua. Estas pueden estar basadas en costumbres y tradiciones locales que rigen el uso y la distribución del agua entre el dueño o dueña de la fuente y sus usuarios y usuarias.

La información compilada en este paso del proceso servirá de base para el diseño y la planificación técnicos y agronómicos que serán objeto de módulos siguientes. Aplicado correctamente, este paso del proceso revelará también oportunidades y límites del

proyecto de riego ya en los primeros momentos del desarrollo de un SPIS.

El paso “Analizar la gestión y la regulación del agua” está interrelacionado con los pasos que siguen “Analizar la extracción de agua” y “Explorar la gobernanza cooperativa del agua”. Estos tres pasos del proceso definen el marco en el que podrá desarrollarse el SPIS desde el punto de vista de una gestión sostenible de los recursos hídricos.

El paso “Analizar la gestión y la regulación del agua” se basa en la recogida de información y datos sobre las características destacadas de la fuente, la tenencia del agua y la situación legal en relación con permisos y licencias de agua. El objetivo de este ejercicio es obtener una visión clara y legalmente segura de las fuentes de agua que se podrían explotar, los derechos de tenencia del agua que se deben adquirir y los límites impuestos a la extracción de agua.

La herramienta **SALVAGUARDA EL AGUA – Herramienta de gestión de los recursos hídricos** de la presente caja de herramientas ofrece orientaciones sobre la información y los datos que se deben recoger y examinar en el apartado 1. Este apartado de la herramienta requiere compilar información de autoridades públicas, organismos de gestión del agua y grupos de usuarios y usuarias.

Para definir el tamaño de la infraestructura del SPIS, el agricultor o la agricultora o el asesor o la asesora deben tener en cuenta varios **límites y restricciones**:

- **Tipo de fuente de agua:** el tipo de fuente (pozo abierto o entubado, estanque/reservorio, lago o río) y sus dimensiones (tamaño, profundidad, nivel del agua por debajo de la superficie) determinan los requisitos técnicos para la extracción de agua. Esta información se tiene en cuenta también en el módulo DISEÑA;
- **Planificación de la gestión del agua y del riego:** los planes respectivos guiarán las decisiones sobre permisos y derechos de agua que tomen los reguladores y reguladoras del agua. Es, pues,

importante que el agricultor o agricultora/asesor o asesora ajuste el proyecto previsto a estos planes;

- **Derechos de agua y obligaciones:** la tenencia de la fuente de agua (privada, pública o común, basada en el uso o en la propiedad) es determinante para el acceso del agricultor o agricultora a una fuente de agua;
- **Detalles del permiso de agua y aspectos relativos a la concesión de licencias:** el derecho a extraer agua de una fuente específica debe estar fundado en un permiso o una licencia de agua con reconocimiento legal. La existencia de tal disposición legal para la extracción de agua es el factor determinante de cualquier proyecto de riego. Esta autorización legal determina también las cantidades (anuales o cuotas mensuales), las condiciones y las restricciones establecidas por las autoridades del agua.

La información correspondiente puede obtenerse de las autoridades/organizaciones que administran las licencias y permisos de agua.

**Importante:** La información y los datos que requiere este paso del proceso deben obtenerse de fuentes verificadas y reconocidas legalmente. No se deben tomar decisiones basadas en información obtenida de fuentes secundarias sin ninguna prueba.

También los acuerdos informales deben incorporar todas las informaciones importantes que prescriben las autoridades públicas, entre las cuales se destacan por su importancia los derechos de acceso, las cuotas de extracción y las restricciones/condiciones.

La licencia de extracción de agua es obligatoria. No se debe emprender ninguna labor de diseño o planificación de SPIS sin haber obtenido antes una licencia de extracción. Todos los aspectos del diseño y la planificación de SPIS deben ajustarse a las cantidades y las condiciones prescritas en una



licencia de extracción de agua legalmente reconocida.

## RESULTADO / PRODUCTO

- Compilación de datos e información sobre la fuente de agua, la tenencia del agua y la licencia de extracción de agua;
- evaluación de la principal posibilidad de desarrollar un SPIS basado en una fuente de agua específica.

## DATOS REQUERIDOS

- Información sobre las características destacadas de la fuente de agua;
- información sobre los derechos de agua y el tipo de derechos de agua;
- información sobre el tipo y los detalles de la licencia de extracción de agua.

## ASUNTOS IMPORTANTES

- El desarrollo de un sistema de riego sólo puede basarse en una licencia de extracción de agua legalmente reconocida.
- Las cantidades/cuotas de extracción y las restricciones prescritas en la licencia de extracción son vinculantes.
- Los acuerdos informales deben ser registrados y reconocidos legalmente.

## PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Agricultores y agricultoras y asesores y asesoras agrícolas;
- autoridades responsables de la gestión de los recursos hídricos y la concesión de licencias de agua;
- organizaciones de agricultores y agricultoras/grupos de usuarios y usuarias del agua.



**Bombeo de aguas subterráneas y almacenamiento a corto plazo**

(Fuente: BGR)

### 3. ANALIZAR LA EXTRACCIÓN DE AGUA

La extracción de agua debe basarse en la licencia de extracción correspondiente, la cual informa también de las cantidades/cuotas anuales o mensuales permitidas y de las condiciones o restricciones específicas, tales como los límites estacionales. Este paso trata de la recogida de información sobre el enfoque de extracción de agua existente o previsto (por gravedad, elevación manual o con motobomba) y la bomba de agua. Se debe evaluar, además, la disponibilidad real de agua. Ambos aspectos son esenciales para determinar si un sistema de riego existente o previsto puede ser manejado de una manera sostenible.

La herramienta **SALVAGUARDA EL AGUA – Herramienta de gestión de los recursos hídricos** de la presente caja de herramientas ofrece orientaciones sobre la información y los datos que se deben recoger y examinar en el apartado 2. El análisis del potencial de extracción de agua de un pozo requiere información técnica facilitada generalmente por los proveedores de servicios técnicos (contratista de perforaciones, fabricantes de bombas, contratistas de sistemas de riego e instaladores de bombas).

El aspecto principal de este proceso es la evaluación de la disponibilidad de agua de la fuente seleccionada. Tratándose de fuentes de agua superficiales (estanque/reservorio, lagos, ríos perennes), se realiza una evaluación general para determinar si la fuente puede proporcionar las cantidades de agua requeridas en cada mes del año. En el caso de pozos y perforaciones que explotan recursos hídricos subterráneos, se requiere una prueba para estimar las propiedades hidráulicas del sistema acuífero al objeto de establecer una tasa de extracción sostenible. Esto se lleva cabo realizando una “prueba de bombeo” (denominada también “prueba de acuífero”), que debe hacerse una vez instalada la bomba. La prueba de bombeo es un ensayo de campo que consiste en bombear agua de un pozo a una tasa de

bombeo controlada, midiendo al mismo tiempo la respuesta (el descenso) de los niveles de agua en uno o más pozos de observación situados en los alrededores y, opcionalmente, en el mismo pozo bombeado (pozo de control). Los datos de respuesta proporcionados por la prueba de bombeo se utilizan para estimar las propiedades hidráulicas del acuífero, evaluar el rendimiento del pozo e identificar los límites del acuífero. Normalmente, las propiedades hidráulicas del acuífero se estiman cotejando los datos de descenso de nivel de una prueba de bombeo a caudal constante con las “curvas tipo” de modelos matemáticos que mejor cuadren con los resultados de la prueba (procedimiento de “ajuste de curvas”), y teniendo en cuenta la configuración geológica del acuífero.

A partir de los datos obtenidos, pueden compararse valores clave relacionados con la extracción de agua (velocidades o tasas de flujo en m<sup>3</sup>/hora o m<sup>3</sup>/día):

- **Capacidad de extracción de agua:** Cantidades de agua que pueden extraerse técnicamente de una fuente de agua con el dispositivo de extracción/bombeo instalado;
- **Licencia de extracción de agua:** Cantidad máxima de agua que el titular del permiso tiene derecho a extraer legalmente en un periodo de tiempo dado (por año, mes o día);
- **Extracción de agua prevista:** Cantidad de agua previsiblemente necesaria conforme a la planificación preliminar del sistema de riego.

El objetivo de este ejercicio es asegurarse de que la capacidad de bombeo:

- no excede la capacidad indicada en el permiso/licencia de agua;

- satisface las necesidades de agua de los cultivos, además de las necesidades técnicas de almacenamiento.

**Recomendación:** Pedir al o a la contratista de pozo y al instalador o la instaladora de la bomba que lleven a cabo el análisis y presenten los datos correspondientes antes de seguir adelante con la planificación del SPIS.

**Importante:** Si uno o más de los parámetros mencionados más arriba en relación con las diferentes velocidades o tasas de flujo no son aplicables al comparar los datos, el sistema no podrá funcionar de manera sostenible, y su puesta en funcionamiento puede ocasionar graves impactos negativos a nivel ecológico (secado del pozo, balance hídrico negativo en el acuífero, descenso del nivel freático) y financiero (sobredimensionamiento del sistema, disponibilidad insuficiente de agua para la producción agrícola). En tal caso, se hace evidente la necesidad de adaptar el diseño del sistema, o incluso de abandonar el proyecto.

## RESULTADO / PRODUCTO

- Recopilación de datos e información sobre las velocidades de flujo de la fuente de agua, la bomba y el sistema;
- comparación de las velocidades de flujo para el rendimiento seguro de la fuente, de la licencia de extracción de agua y del sistema de bombeo y riego.

## DATOS REQUERIDOS

- Velocidad de flujo de la fuente de agua;
- cuota de la licencia de agua;
- curva de velocidad de flujo de la bomba de agua;
- demanda de agua prevista del sistema de riego.

## ASUNTOS IMPORTANTES

- El rendimiento seguro (extracción sostenible) de la fuente de agua es el factor determinante para un funcionamiento sostenible.
- La prueba de bombeo o de acuífero debe realizarse y requiere conocimientos especiales.
- Los proveedores de servicios técnicos proporcionan información sobre fuentes de agua e instalaciones de bombeo existentes.

## PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Agricultores y agricultoras y asesores y asesoras agrícolas;
- autoridades encargadas de la gestión de los recursos hídricos y la concesión de licencias;
- organizaciones de agricultores y agricultoras/grupos de usuarios y usuarias del agua;
- proveedores de servicios técnicos.

#### 4. EXPLORAR LA GOBERNANZA COOPERATIVA DEL AGUA

Todos los sistemas de riego existen en un entorno hidrológico, socioeconómico y cultural. El desarrollo de sistemas de riego con energía solar puede afectar a los intereses de otros usuarios y usuarias del agua. Sin embargo, las buenas relaciones entre vecinos y vecinas que comparten una fuente de agua común no solo evitarán situaciones de conflicto y competencia entre ellos, sino que ofrecerán también oportunidades de cooperación y beneficios mutuos. Cualquiera que sea el marco institucional que regula el acceso al agua, el funcionamiento sostenible de un sistema de riego requiere un alto grado de responsabilidad y cumplimiento de las normas por parte de los agricultores y agricultoras. En este contexto, la práctica del autocontrol y la autorregulación al interior de la explotación y entre todos los usuarios y usuarias de la fuente de agua compartida puede ayudar a que se cumplan realmente las reglamentaciones establecidas por las autoridades públicas en relación con el uso de este recurso. Así pues, al diseñar el sistema debería considerarse la posibilidad de una acción colectiva de los usuarios y usuarias del agua que permita su funcionamiento sostenible. El hecho de que los agricultores y agricultoras conozcan el sistema de gobernanza local del agua y sean conscientes de los límites y restricciones que éste impone es uno de los factores clave para la sostenibilidad de los proyectos de riego.

El paso “Explorar la gobernanza cooperativa del agua” sugiere considerar tres niveles de la gobernanza del agua de riego que son relevantes para la planificación del proyecto:

- **Nivel de granja individual:** La extracción de agua de una fuente y su uso deben encuadrarse en el marco establecido por la licencia de extracción de agua y los principios del rendimiento seguro (v. arriba). Ello requiere una medición cuidadosa del agua a la salida de la bomba, además de una disciplina de autocontrol.
- **Nivel local:** Dado que el bombeo de aguas subterráneas crea un cono de depresión en la capa freática local (v. arriba), los usuarios y usuarias de la “**zona de influencia**” de un pozo pueden verse afectados por la extracción de agua para el sistema de riego previsto. Y a la inversa, la extracción de agua de estos usuarios y usuarias influye en la disponibilidad de agua para el proyecto previsto. A fin de mantener un volumen de extracción sostenible de la fuente de agua, los usuarios y usuarias deben llegar a un acuerdo y establecer un autocontrol de la extracción de agua.
- **Nivel de usuarios y usuarias del agua o de organizaciones de explotaciones:** Los usuarios y usuarias de agua de riego suelen estar organizados en grupos u organizaciones que asumen la responsabilidad de establecer y mantener las normas y reglamentaciones para la extracción de agua y el manejo de la infraestructura colectiva de riego.



Medición del agua de la fuente con un medidor de agua proporcional de bajo costo.

(Fuente: M. Eichholz/ BGR)

Estas organizaciones imponen obligaciones y requisitos de control que deben cumplirse, pero ofrecen también la oportunidad de compartir riesgos en caso de escasez de agua.

- El usuario o usuaria que pueda verse afectado o afectada por la extracción prevista de aguas subterráneas (o que pueda afectar al proyecto de extracción) puede inferirse del análisis de la prueba de bombeo realizada en el paso precedente.
- Con base en esta delimitación espacial, se deben evaluar los siguientes aspectos:
  1. ¿Existen mecanismos de coordinación o acuerdos más institucionalizados entre los usuarios y usuarias?
  2. ¿Reflejan los acuerdos los principios básicos de la gestión sostenible de los recursos hídricos? ¿Pueden incorporarse estos principios en tales acuerdos?
  3. ¿Practican todas las explotaciones/ usuarios y usuarias del entorno el autocontrol y la medición de sus extracciones y su utilización del agua? ¿Disponen los usuarios y usuarias de agua subterránea de la zona de influencia de los medios técnicos para ello? ¿Se manejan los datos de control de manera transparente, y por qué canales? (p. ej., la asociación, la autoridad o comunicación al público en general)
  4. ¿Incorporan los acuerdos entre usuarios y usuarias la adaptación uniforme y transparente de la extracción de agua en periodos de disponibilidad limitada del recurso o en otras situaciones (p. ej., restricciones causadas por accidentes de contaminación, establecimiento de puntos de extracción adicionales, etc.), o podría llegarse a un acuerdo en tal sentido? ¿Existen mecanismos de cooperación en caso de sequía?

**Recomendación:** La acción colectiva entre usuarios y usuarias del agua es un enfoque

muy exitoso para ayudar a los agricultores y agricultoras/productores y productoras de fuentes de agua compartidas a protegerlas conjuntamente siguiendo los principios de la gestión sostenible de los recursos hídricos. Los acuerdos y las acciones podrían incorporar aspectos importantes tales como las cuotas de extracción de agua de cada agricultor o agricultora, la lista de cultivos estacionales, la utilización de tecnologías de riego economizadoras de agua, el enfoque y la rutina de seguimiento de la extracción y el uso del agua, y la información mutua en caso de crisis/emergencias.

**Importante:** El riego con energía solar contribuye a la buena gobernanza del agua sólo si el sistema de riego está diseñado de manera sostenible y es manejado con prudencia. Esto incluye: diseño y disposición del sistema basados en las cantidades de agua permitidas e integración de la medición del agua a lo largo del proceso de producción. Además, la acción colectiva de los usuarios y usuarias debe contar con el apoyo de servicios de asesoramiento científico que sensibilicen a los usuarios y usuarias respecto de la importancia de una gestión sostenible de los recursos hídricos y proporcionen información sobre cultivos, tecnologías de riego y métodos de cultivo que reducen el consumo de agua.

## RESULTADO / PRODUCTO

- Evaluación de agricultores y agricultoras/usuarios y usuarias adicionales afincados en la zona de influencia;
- evaluación de las normas e instituciones existentes relacionadas con las aguas subterráneas, tales como acuerdos entre usuarios y usuarias y sistemas de autocontrol;
- evaluación de mecanismos de coordinación y cooperación entre usuarios y usuarias vecinos de aguas subterráneas;

- agricultores y agricultoras/productores y productoras sensibilizados.

#### DATOS REQUERIDOS

- Zona de influencia (consultar “Analizar la extracción de agua”);
- detalles de los acuerdos entre usuarios y usuarias.

#### ASUNTOS IMPORTANTES

- En el diseño del sistema deben incorporarse disposiciones técnicas para el control de la extracción y el uso del agua.

- Los acuerdos entre usuarios y usuarias deben ser publicitados de manera proactiva por los servicios de asesoramiento.

#### PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Agricultores y agricultoras y asesores y asesoras agrícolas;
- autoridades encargadas de la gestión de los recursos hídricos y la concesión de licencias;
- organizaciones de agricultores y agricultoras/grupos de usuarios y usuarias del agua.

## 5. EXAMINAR POTENCIALES RIESGOS E IMPACTOS

Realizando un examen exhaustivo de los riesgos e impactos relacionados con la extracción de agua de las fuentes disponibles, o bien el asesor o asesora agrícola o bien el o la profesional del desarrollo (el **promotor**) estará en condiciones de identificar los límites y las restricciones del proyecto de riego previsto.

Los pasos precedentes tienen por objetivo recabar información sobre las cantidades de agua disponibles y los derechos de uso. En muchos países, dicha información obra en poder de diferentes autoridades y es a menudo fragmentaria o incompleta. Así, es importante que el promotor triangule la información recibida de diferentes fuentes relevantes. Estas pueden ser autoridades públicas, asociaciones de usuarios y usuarias o profesionales del agua, así como instituciones científicas involucradas en la gestión hídrica local.

- Tratándose en especial de datos hidrológicos y estimaciones de cantidades disponibles, es importante señalar que en el ciclo del agua rara vez se observan condiciones estables. La variabilidad y el cambio climático, así como sucesos hidrológicos que tienen lugar aguas arriba, pueden modificar las cantidades de agua previstas en el diseño de un sistema de riego. Estos cambios pueden afectar tanto a las cantidades globales como a las fluctuaciones estacionales.
- Los cambios en la disponibilidad del agua pueden entrañar un riesgo para la productividad de las explotaciones, y por tanto para la viabilidad financiera de un proyecto.
- Los derechos de agua y los permisos de extracción son obligatorios para la puesta en marcha de un proyecto de riego. El incumplimiento de la normativa en materia de agua puede

dar lugar a la imposición de sanciones, el enjuiciamiento y la suspensión del proyecto.

- Es importante verificar si en estos permisos la extracción de agua está regulada en detalle y de qué manera. Además, las organizaciones de agricultores y agricultoras o los grupos de usuarios y usuarias pueden proporcionar información sobre las cantidades de agua disponibles, y quizás sobre planes de riego y restricciones a la utilización del agua.
- Los organismos que otorgan subsidios o financiación pueden imponer obligaciones o restricciones particulares para prestar apoyo financiero al proyecto de riego. Tales obligaciones pueden estar vinculadas al tipo de riego, el tamaño del sistema, el uso productivo o también el cumplimiento de los principios de sostenibilidad en la extracción y el uso del agua.

**Recomendación:** El examen de potenciales riesgos e impactos de un proyecto de riego debe basarse en la información de fuentes oficiales y confiables recogida en los pasos precedentes. El proceso de planificación y diseño de un sistema de riego sólo debe continuarse si se dispone de licencias o permisos válidos de extracción de agua.

A la hora de resumir las cuestiones relacionadas con el agua que se han tratado en este módulo, cabe subrayar que —aparte de la regulación pública— también es de suma importancia que todos los agricultores y agricultoras que practican el riego sean conscientes de su función y de los riesgos que implica compartir una fuente de agua. En el curso de la planificación de un sistema de riego con energía solar, han de abordarse las siguientes **cuestiones críticas** que están relacionadas

con potenciales riesgos y su impacto en el proyecto:



Áreas de preguntas clave	Cuestiones críticas	Posibles consecuencias
<b>Disponibilidad de agua y licencias</b>	Licencia / permiso no disponibles	El desarrollo del sistema carece de base Necesidad de identificar un sitio alternativo
	Disponibilidad de agua insuficiente, ya sea en cantidad o en calidad	Necesidad de adaptar el tamaño y el diseño del sistema Limitaciones de operación estacionales <b>Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos</b>
	Restricciones/limitaciones de uso	Necesidad de adaptar la producción Peligro potencial para la viabilidad financiera
	Altos costos del agua (consumo por suscripción y basado en la cantidad)	Necesidad de adaptar la producción Peligro potencial para la viabilidad financiera
<b>Gestión y gobernanza del agua</b>	Otros usuarios y usuarias afectados por la extracción de agua	Adaptación de la extracción de agua al plan de riego Necesidad de adaptar la operación y la producción
	Restricciones/limitaciones prescritas por la legislación/normas locales	Adaptación de la extracción de agua al plan de riego Necesidad de adaptar la operación y la producción
	Prescripción de principios de operación y especificaciones técnicas de diseño	Necesidad de adaptar el diseño del sistema Necesidad de adaptar la operación y la producción Peligro potencial para la viabilidad financiera
	Necesidad de invertir en supervisión suplementaria y en instalaciones conjuntas	Necesidad de adaptar el diseño del sistema Peligro potencial para la viabilidad financiera
<b>Planificación de la fuente de agua</b>	Rendimiento sostenible limitado de la fuente de agua	Necesidad de rehabilitar / ampliar la instalación de la fuente Necesidad de adaptar el diseño del sistema Limitaciones de operación estacionales <b>Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos</b>
	Necesidad de compartir con otros usuarios	Necesidad de rehabilitar / ampliar la instalación de la fuente Necesidad de acuerdos y gestión conjunta Limitaciones de operación estacionales <b>Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos</b>

Áreas de preguntas clave	Cuestiones críticas	Posibles consecuencias
	Planificación de la fuente de agua independiente del diseño/planificación del sistema de riego	Peligro potencial de sobre- o sub-dimensionamiento de la instalación de la fuente <b>Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos</b> Peligro potencial para la viabilidad financiera
	Planificación de la fuente de agua sin investigación hidrológica	Peligro potencial de sobre- o sub-dimensionamiento de la instalación de la fuente <b>Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos</b> Peligro potencial para la viabilidad financiera
<b>Diseño y planificación técnicos</b>	Diseño y planificación del sistema de riego independientes de la planificación de la fuente de agua	Insuficiente adaptación del diseño del sistema a la disponibilidad de agua Peligro potencial de sobre- o sub-dimensionamiento del sistema de riego <b>Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos</b> Necesidad de adaptar la producción Peligro potencial para la viabilidad financiera
	Diseño y planificación del sistema de riego sin planificación agronómica	Peligro potencial de sobre- o sub-dimensionamiento del sistema de riego Necesidad de adaptar la producción Peligro potencial para la viabilidad financiera
	Diseño y planificación del sistema de riego basados en un modelo o prototipo ( <i>blueprint</i> )	Insuficiente adaptación del diseño del sistema a la disponibilidad de agua Peligro potencial de sobre- o sub-dimensionamiento del sistema de riego <b>Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos</b> Necesidad de adaptar la producción Peligro potencial para la viabilidad financiera
	Limitaciones impuestas al diseño y planificación del sistema de riego por las exigencias de las autoridades que	Insuficiente adaptación del diseño del sistema a la disponibilidad de agua Peligro potencial de sobre- o sub-dimensionamiento de la instalación de la fuente

Áreas de preguntas clave	Cuestiones críticas	Posibles consecuencias
	conceden subsidios/ financiación	<b>Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos</b> Necesidad de adaptar la producción Peligro potencial para la viabilidad financiera

Un aspecto clave de la evaluación es que ninguna de las áreas de preguntas puede examinarse de manera independiente, porque todas están estrechamente interrelacionadas.

En varios puntos, la evaluación puede identificar **riesgos de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos**. Como ya se ha señalado en pasos anteriores del proceso, estos riesgos están relacionados con un amplio abanico de impactos negativos:

#### **Impactos ecológicos de la sobreexplotación de los recursos hídricos**

- Desecación de biotopos y muerte de la vegetación;
- Degradación de suelos;
- Reducción de niveles/flujos de aguas superficiales;
- Contaminación y salinización de los recursos hídricos.

#### **Impactos económicos de la sobreutilización de los recursos hídricos**

- Aumento de los costos de bombeo debido a la explotación de fuentes más profundas (mayores insumos de energía, bombas de mayor tamaño);
- Aumento de los costos debido a la necesidad de tratamiento de aguas contaminadas/salinas;
- Limitaciones impuestas al riego por la desecación o reducción periódicas del flujo de las fuentes de agua.

#### **Impactos sociales de la sobreutilización de los recursos hídricos**

- Conflictos entre usuarios y usuarias motivados por la menor disponibilidad de agua;
- Discriminación/marginalización de usuarios y usuarias con recursos financieros limitados, debido al secado de pozos abiertos/poco profundos (y a la incapacidad de invertir para aumentar aún más la explotación);
- Peligro de desabastecimiento de agua potable debido a la competencia entre el agua para riego y el agua destinada al consumo humano.

#### **RESULTADO / PRODUCTO**

- Análisis general de los riesgos e impactos del proyecto de SPIS;
- identificación de potenciales riesgos que comprometen la viabilidad del proyecto de SPIS;
- verificación de si se han tenido en cuenta factores interdependientes.

#### **DATOS REQUERIDOS**

- Información sobre la disponibilidad de agua y las reglamentaciones y leyes que rigen la extracción de agua;
- información sobre el marco y las organizaciones de gestión y gobernanza del agua;

- información sobre las prescripciones/obligaciones que imponen al diseño del sistema los organismos que otorgan subsidios/financiación;
- datos sobre las características y las capacidades de las fuentes de agua;
- datos sobre la demanda de agua de los componentes del sistema de riego.

### ASUNTOS IMPORTANTES

- Ningún sistema de riego puede desarrollarse sin la obtención previa de una licencia/derechos de agua para la extracción de agua.
- Las cuotas de extracción de agua son vinculantes y establecen la disponibilidad máxima de agua para la demanda pico.
- La coordinación entre las partes interesadas en el diseño y la planificación no debe darse por sentada, sino que debe promoverse de forma activa.
- La triangulación (esto es, el uso de diferentes fuentes de información) es

necesaria para obtener una visión panorámica realista y completa.

- Los sistemas de riego deben estar integrados en el contexto hidrológico, social y económico de la región. Deberían evitarse los sistemas basados en modelos prediseñados.

### PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Agricultores y agricultoras y asesores y asesoras agrícolas;
- autoridades encargadas de la gestión de los recursos hídricos y la concesión de licencias;
- servicios hidrológicos;
- organizaciones de agricultores y agricultoras/grupos de usuarios y usuarias del agua;
- contratista de pozos;
- fabricantes y proveedores de tecnología;
- organismos que otorgan subsidios/financiación.

## 6. AJUSTAR LA PLANIFICACIÓN Y LA OPERACIÓN

El paso final del proceso descrito en este módulo se basa en los resultados de los anteriores pasos 2 – 5, en los que se han evaluado factores importantes relacionados con el uso sostenible de los recursos hídricos previstos para el sistema de riego. No debería obviarse ninguno de los pasos de este proceso, y es importante que los análisis correspondientes se realicen siguiendo la lógica que subyace a los pasos del proceso, antes de proceder finalmente a diseñar y planificar el SPIS previsto.

Es casi seguro que el recorrido de los pasos 2 – 5 dará como resultado limitaciones y restricciones en lo que respecta al diseño y la disposición de los componentes del sistema, y también en cuanto a las opciones de producción agrícola. Dado que los recursos hídricos son limitados y cada vez más restringidos, cuando se trata de su explotación deben prevalecer los criterios de sostenibilidad. El factor determinante para el desarrollo de un sistema de riego es, pues, la disponibilidad sostenible de agua. Por tanto, **el sistema y la producción deben diseñarse y planificarse atendiendo al rendimiento seguro de la fuente de agua seleccionada.**

En los sistemas delineados a partir de modelos o prototipos, pueden darse situaciones, como las que se enumeran más abajo, en que es necesario introducir modificaciones para adaptarlos y ajustarlos al principio de sostenibilidad:

- **Licencia de extracción de agua inexistente o insuficiente:** En el peor de los casos, el proyecto de riego no sería posible debido a la ausencia de derechos de extracción, o al hecho de que las cuotas de extracción son demasiado pequeñas para permitir una producción viable. Con mucha frecuencia, los límites y las condiciones establecidas en las licencias de extracción requieren una reducción de las dimensiones del sistema (debido a la disponibilidad limitada de agua) y/o la adaptación de la rotación de cultivos (debido a la disponibilidad limitada de agua, la restricción de cultivos estacionales y la restricción del uso de insumos agrícolas para proteger el suelo y el agua). Ello puede repercutir también en la gestión y la operación del sistema.
- **Baja disponibilidad de agua y variaciones estacionales:** La evaluación del rendimiento seguro de una fuente de agua puede limitar aún más las opciones de riego y producción – existen a menudo restricciones estacionales (p. ej., durante las estaciones secas). Es importante tener presente que el rendimiento seguro (sostenible) de una fuente de agua puede ser inferior a la cuota indicada en la licencia de extracción.
- **Superposición de las demandas de recursos hídricos compartidos:** Además, el análisis de las repercusiones del proyecto de riego en su zona de influencia puede poner de manifiesto la existencia de nuevas limitaciones, y por tanto, la necesidad de introducir adaptaciones y ajustes en el diseño, la producción y la operación del sistema. Deben tenerse en cuenta los intereses y los derechos de todos los agricultores y agricultoras/usuarios y usuarias afectados y la necesidad de armonizarlos. Ello puede lograrse mediante la concertación de acuerdos bilaterales de usuarios y usuarias — entre agricultores y agricultoras vecinos o bajo el paraguas de asociaciones de usuarios y usuarias— que tengan por objeto la restricción de cultivos de temporada, la distribución rotativa del agua y la reducción de las velocidades de flujo.
- **Requisitos de diseño impuestos por una entidad financiadora:** Una cuestión particular son las condiciones y restricciones de las organizaciones que otorgan subsidios/financiación. Estas condiciones están vinculadas a menudo al uso de ciertas

tecnologías (p. ej., microrriego para ahorrar agua) o la plantación de determinados cultivos (p. ej., x % de la rotación de cultivos debe hacerse con oleaginosas u otros cultivos), y por tanto pueden limitar las opciones para el diseño del sistema y una producción viable.

**Recomendación:** Todos los sistemas de riego deben diseñarse y disponerse con base en una planificación exhaustiva que parta de cero y tenga en cuenta el análisis de las condiciones marco y los parámetros de diseño, tal y como se explica con mayor detalle en el módulo **DISEÑA**.

Cambios en la disponibilidad de agua pueden darse también una vez instalado el sistema de riego en conformidad con las licencias otorgadas. Teniendo en cuenta el aumento global de la variabilidad climática, se recomienda diseñar un sistema de riego flexible y resiliente a la escasez de agua. Entre las medidas a tomar en procura de sistemas de riego resilientes a las sequías se cuentan, por ejemplo, la selección de cultivos con baja demanda de agua, una alta eficiencia en el uso del agua y mecanismos de defensa tales como el almacenamiento de agua y la contratación de seguros. En este contexto, debe tenerse en cuenta el papel de la acción colectiva y la compartición de riesgos entre los usuarios y usuarias del agua.

**Importante:** La inobservancia de las limitaciones y restricciones que imponen las condiciones marco puede llevar a un sobre- o subdimensionamiento de la capacidad del sistema y a su funcionamiento no sostenible. En lo que respecta a un sistema sobredimensionado, la extracción de agua por encima del rendimiento seguro tendrá un impacto negativo en el medio ambiente y puede constituir una violación de las cuotas de agua asignadas en la licencia/permiso de extracción. Por otro lado, un déficit en la extracción de agua puede dar lugar a una baja tasa de utilización del agua por el sistema; es decir, a una situación de un riego insuficiente que afecta a la viabilidad financiera del proyecto. La sostenibilidad en términos ambientales y financieros sólo puede conseguirse si la disponibilidad de agua, el diseño/disposición del sistema, la producción agrícola y la gestión y operación del riego están armonizados desde la etapa inicial de diseño.

Desde el punto de vista de una gestión adaptativa, es importante reevaluar las condiciones marco en intervalos regulares, dado que algunos factores pueden cambiar, tales como la restricción estacional de ciertos cultivos (que requieren mucha agua) y las pautas/cantidades de asignación de agua. Estos cambios pueden exigir ajustes en la operación del sistema y la planificación de la producción después de haberse construido el sistema de riego.

## RESULTADO / PRODUCTO

- Diseño/disposición del sistema ajustados/adaptados conforme a una gestión adaptativa;
- operación del sistema ajustada/adaptada con énfasis en la eficiencia;
- producción del sistema ajustada/adaptada.

## DATOS REQUERIDOS

- Resultados de los pasos 2 – 5 del proceso.

## ASUNTOS IMPORTANTES

- La falta de ajuste/adaptación del diseño, la operación o la producción del sistema da lugar a impactos ecológicos y financieros adversos.

- Los ajustes/adaptaciones no cesan después de la construcción del SPIS, sino que constituyen un proceso iterativo.

#### PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Agricultores y agricultoras y asesores y asesoras agrícolas;
- autoridades encargadas de la gestión de los recursos hídricos y la concesión de licencias;
- organizaciones de agricultores y agricultoras/grupos de usuarios y usuarias del agua;
- proveedores de tecnologías y servicios.

## LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

### Lecturas complementarias

- Cech, T. V. (2010): Principles of Water Resources: History, Development, Management, and Policy. USA: John Wiley & Sons.
- Hahn, A., Sass, J. & Fröhlich, C. (2015): Manual and tools for promoting SPIS. Multicountry - Stocktaking and Analysis Report. GFA Consulting Group. Recuperado de [http://energypedia-uwe.idea-sketch.com/wiki/File:Stocktaking\\_and\\_Analysis\\_Report\\_-\\_Final\\_Draft.pdf](http://energypedia-uwe.idea-sketch.com/wiki/File:Stocktaking_and_Analysis_Report_-_Final_Draft.pdf)
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2010): Sustainable Management of Water Resources in Agriculture. Recuperado de <http://www.oecd.org/tad/sustainable-agriculture/sustainablemanagementofwaterresourcesinagriculture.htm>
- Ponce, V.M. (2006): Groundwater Utilization and Sustainability. Recuperado de <http://groundwater.sdsu.edu/>
- Shah, T. (2014): Groundwater Governance and Irrigated Agriculture. In: *Tec Background Series* 19. Stockholm, Sweden: Elanders. Recuperado de [http://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/gwp\\_tec\\_19\\_web.pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/gwp_tec_19_web.pdf)
- Tuinhof, A., Van Steenberghe, F., Vos, P. & Tolk, L. (2012): Profit from Storage. The costs and benefits of water buffering. Wageningen, the Netherlands. Recuperado de <https://www.un-igrac.org/file/767/download?token=wMZRuxFp>

### Enlaces

- Ground Water Governance. A global Framework for Action. Recuperado de: <http://www.groundwatergovernance.org/home/en/>
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Trainings manual - Integration of Groundwater Management into Transboundary Organizations in Africa. Recuperado de: [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Zusammenarbeit/TechnZusammenarbeit/Politikberatung\\_GW/Produkte/Trainings\\_Manual.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Zusammenarbeit/TechnZusammenarbeit/Politikberatung_GW/Produkte/Trainings_Manual.html)
- Duffield, G. M.: Aquifer Testing 101. Pumping Test. AQTESOLV. Recuperado de: <http://www.aqtesolv.com/pumping-tests/pump-tests.htm>
- Illinois Environmental Protection Agency: Groundwater Quality Protection Program. Recuperado de: <http://www.epa.illinois.gov/topics/water-quality/groundwater/>

### Herramientas de SPIS

**SALVAGUARDA EL AGUA – Herramienta de cálculo de necesidades de agua:** calcula las necesidades de mensuales de agua de diferentes cultivos y tipos de ganado

**SALVAGUARDA EL AGUA – Herramienta de gestión de los recursos hídricos:** incluye una guía para la inspección regular para la extracción sostenible y legal de agua



**RIEGA – Herramienta de suelos:** calculador para determinar el intervalo de riego según la ubicación geográfica, las precipitaciones, tipo de cultivo y tipo de suelo.

## GLOSARIO TÉCNICO

Acuífero	Formación(es) geológica(s) subterránea(s) que contiene(n) cantidades utilizables de aguas que puede(n) abastecer pozos y manantiales para uso doméstico, industrial y de riego.
Altura de succión	Distancia vertical de la superficie del agua a la bomba. Esta distancia está limitada por la física a máximo 6 metros, y debería minimizarse para obtener los mejores resultados. Esto se aplica solo a las bombas de superficie.
Bomba	Convierte energía mecánica en energía hidráulica (presión y/o flujo).  Bomba sumergible: una combinación de motor/bomba diseñada para ser instalada íntegramente por debajo de la superficie del agua.  Bomba de superficie: bomba no sumergible que se instala a una altura no mayor de 6 metros por encima de la superficie del agua.
Cabezal de riego	En un sistema de riego, unidad de control donde se regula la cantidad, la calidad y la presión del agua utilizando diferentes tipos de válvulas, reguladores de presión, filtros y, posiblemente, un sistema de irrigación química (quimigación).
Carga (altura de bombeo)	Valor de la presión atmosférica en un sitio específico y en condiciones específicas. [m]:  Carga total (dinámica): Suma de las cargas estática, de presión, fricción y velocidad contra las que una bomba trabaja al bombear a una velocidad de flujo específica. [m]  Pérdida de carga: Pérdida de energía en el flujo del fluido. [m]
Cebado	Proceso de llenar manualmente el tubo de succión y entrada de una bomba de superficie. Generalmente, el cebado es necesario cuando la bomba debe situarse encima de la fuente de agua.
Coeficiente de cultivo (Kc)	Relación que existe entre la evapotranspiración real de un cultivo específico y su evapotranspiración potencial (o la evapotranspiración de referencia). Es diferente para cada cultivo y cambia con el tiempo según la etapa de crecimiento del cultivo.
Corriente (I)	Corriente eléctrica es el flujo de electricidad que circula por un conductor cuando existe un voltaje a lo largo del mismo, o la velocidad de flujo de la carga eléctrica, expresada en amperios [A].
Descenso	Descenso del nivel del agua en un pozo a causa del bombeo.
Eficiencia de la irrigación	Proporción del agua de riego aprovechada en relación con el agua de riego aplicada. [%]
Eficiencia de los paneles solares	La eficiencia de un panel solar es la razón entre la luz incidente en el panel y la cantidad de electricidad producida. Se expresa como porcentaje. La mayoría de los sistemas tienen una eficiencia de alrededor de 16 %, lo que significa que el 16 % de la energía lumínica es convertido en electricidad.

Emisor	Pequeño dispositivo dispensador de microirrigación, diseñado para disipar la presión y descargar un flujo reducido y uniforme de agua en forma de gotas o chorros finos, con una descarga constante que no varía de forma significativa debido a pequeñas diferencias en la altura de presión. Conocido también como “gotero”.
Evaporación	Pérdida de agua en forma de vapor de la superficie del suelo o de hojas húmedas. [mm]
Evapotranspiración (ET)	Pérdida de agua por la acción combinada de la evaporación y la transpiración. La ET de un cultivo (ETc) puede estimarse calculando a partir de datos meteorológicos la ET de referencia de un cultivo de referencia determinado (ETo de césped cortado), y multiplicando el resultado por un coeficiente de cultivo (Kc). La ETc, o el agua perdida, es igual a las necesidades de agua de un cultivo. [mm]
Flujo por gravedad	Utilización de la gravedad para producir presión y flujo de agua; por ejemplo, elevando el estanque de almacenamiento por encima del punto de uso, de manera que el agua fluya sin necesidad de bombeo.
Fotosíntesis	Es el proceso utilizado por las plantas y otros organismos para convertir energía lumínica en energía química que puede ser liberada más tarde y servir de combustible para las actividades de los organismos (transformación de la energía).
Infiltración	Acción y efecto de penetrar el agua en el perfil del suelo.
Insolación	Tasa a la cual la energía solar alcanza una unidad de superficie terrestre, medida en vatios por metro cuadrado [ $W/m^2$ ]. Llamada también “irradiancia solar”.
Irradiación (Radiación)	Integración o suma de la insolación (igual a la irradiancia solar) durante un periodo de tiempo expresada en julios por metro cuadrado ( $J/m^2$ ) o vatios-hora por metro cuadrado [ $Wh/m^2$ ].
Irrigación o riego	Irrigación o riego es la aplicación controlada de agua para responder a las necesidades de los cultivos.
Irrigación con fertilizantes (o fertiirrigación)	Aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego. Una forma de irrigación química o quimigación.
Irrigación química (o quimigación)	Proceso de aplicar productos químicos añadidos al agua (fertilizantes, insecticidas, herbicidas, etc.) a los cultivos o al suelo a través de un sistema de riego.
Latitud	La latitud especifica la posición norte-sur de un punto situado sobre la superficie de la Tierra. Es un ángulo que va de $0^\circ$ en el ecuador a $90^\circ$ (norte o sur) en los polos. Las líneas de latitud constante, o paralelas, discurren de este a oeste describiendo círculos paralelos al ecuador. La latitud se utiliza junto con la longitud para especificar la ubicación precisa de puntos de interés sobre la superficie de la Tierra.
Lixiviación	Desplazamiento de materiales solubles a través del perfil del suelo con el agua.

Necesidades brutas de agua de riego	de	Expresa la cantidad de agua que requiere el sistema de riego. [mm]
Necesidades de agua de los cultivos	de	Cantidad de agua que necesita una planta. Depende del clima y el cultivo, así como también de la gestión y las condiciones ambientales. Es lo mismo que la evapotranspiración de los cultivos.
Necesidades netas de agua de riego	de	Suma de las necesidades de agua de los cultivos para cada planta durante un periodo de tiempo determinado. Las necesidades netas de agua de riego determinan la cantidad de agua que debe llegar a los cultivos para satisfacer su demanda de agua en el suelo. [mm]
Percolación profunda		Movimiento del agua hacia abajo a través del perfil del suelo por debajo de la zona radicular. Esta agua se pierde para las plantas y acaba en las napas subterráneas. [mm]
Pérdida por fricción		Pérdida de presión debido a la fricción del agua en el interior de la tubería. Depende del tamaño de la tubería (diámetro interno), la velocidad de flujo y la longitud de la tubería. Se determina consultando una tabla de pérdidas por fricción disponible en una obra de consulta de ingeniería o recurriendo a un proveedor de tuberías. [m]
Pérdidas de conducción		Pérdida de agua de un canal o tubería durante el transporte debido a filtraciones, fugas, evaporación u otras pérdidas.
Potencia (P)		La <b>potencia</b> es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo. La potencia eléctrica, por ejemplo, depende de la cantidad de corriente y el voltaje del sistema, siendo igual a la corriente multiplicada por el voltaje ( $P = I \times V$ ). [W]
Presión		Medida de la fuerza presente en un sistema. Esta es la fuerza dividida por área (sección transversal) que mueve el agua a través de la tubería, los aspersores y los emisores. La presión estática es la que se mide cuando el agua no fluye, y la dinámica la que se mide cuando el agua fluye. La presión y el flujo se afectan mutuamente. [bar, psi, kPa]
Radiación solar global (G)		Energía transportada por la radiación solar (directa + difusa) que incide sobre una superficie durante cierto periodo de tiempo. La magnitud de la radiación solar global depende del sitio donde se mida, dado que en ella influyen, entre otros factores, las nubes, la humedad del aire, el clima, la altitud y la latitud. La radiación solar global incidente sobre una superficie horizontal es medida por una red de estaciones meteorológicas esparcidas por todo el mundo, y se expresa en kilovatios-hora por metro cuadrado. [kWh/m <sup>2</sup> ].
Riego de superficie		Método de irrigación que utiliza la superficie del suelo para transportar el agua mediante el flujo por gravedad desde la fuente a las plantas. Los siguientes son métodos comunes de riego de superficie:

	Riego por surcos – el agua se aplica a cultivos en hilera a través de acequias o canales pequeños excavados entre las hileras con implementos de labranza
	Riego por compartimientos (bancales o eras) – el agua es aplicada a una superficie completamente nivelada rodeada por diques
	Riego por inundación – el agua es aplicada a la superficie del suelo sin controles de flujo, tales como surcos o crestas.
Riego por goteo	Agua que se aplica a la superficie del suelo a través de emisores de muy bajo caudal (gotas o chorros finos de agua). También conocido como “microirrigación”.
Salinidad (salino)	La salinidad hace referencia a la cantidad de sales disueltas en el agua del suelo.
Seguimiento del punto de máxima potencia, MPPT	Es un circuito electrónico dentro del inversor que deja operar el generador solar en el punto de máxima potencia eléctrica.
Transpiración	Agua captada por las raíces de las plantas y transpirada por las hojas. [mm]
Tubos laterales	Tubo(s) que van de las válvulas de control a los aspersores o tubos emisores de gotas.
Viabilidad financiera	Capacidad de generar suficientes ingresos para cubrir los gastos de funcionamiento y las necesidades financieras, y, en el mejor de los casos, producir beneficios. La viabilidad financiera suele evaluarse aplicando los enfoques de “valor actual neto” (VAN) y de “tasa interna de retorno” (TIR), junto con una estimación de la sensibilidad de los elementos de costo e ingreso (v. módulo <b>INVIERTE</b> ).
Voltaje (U o V)	Voltaje o tensión eléctrica es el potencial existente entre dos puntos, o la diferencia de carga entre dos puntos, expresado en voltios [V].
Zona radicular	Profundidad o volumen de suelo del que las plantas extraen agua con eficacia. [m]