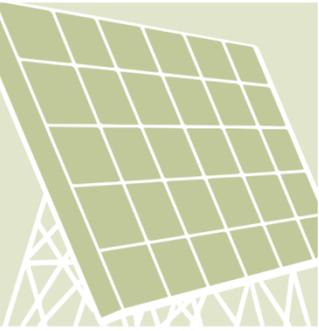


POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 1: Infórmate

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) (Energía para la agricultura: Un gran desafío de energía para el desarrollo), 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

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 por 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
GPMI	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 _T	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 ²	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
Vd	Daily crop water requirement (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

INFÓRMATE

1. Introducción a la energía solar y el riego



2. Generador solar



3. Estructura de montaje



4. Motor, unidad de control / inversor



5. Bomba de agua



6. Sistema de monitoreo



7. Reservorio



8. Cabezal de riego



9. Sistema de fertirrigación



10. Sistema de riego

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

Debido a los significativos avances de la tecnología y la caída de los precios en el sector fotovoltaico, las bombas solares se han convertido en una alternativa económica, técnica y ambientalmente viable a los sistemas de bombeo tradicionales.

Sin embargo, son pocas las personas conscientes del potencial, pero también de los riesgos asociados al riego solar. Con frecuencia, las bombas solares no están integradas de manera óptima en el sistema de riego, lo que da lugar a ineficiencias. En consecuencia, la demanda entre los productores y productoras es baja, y son muchos los reparos que oponen las instituciones financieras para su subvención.

El módulo **INFÓRMATE** proporciona una introducción general tanto para asesores y asesoras agrícolas como para proveedores de servicios financieros, con el fin de que comprendan el principio operativo de los sistemas de riego solar (SPIS). El capítulo describe, además, cómo las diferentes configuraciones de los componentes pueden influir en el funcionamiento del sistema en su totalidad. El módulo **INFÓRMATE** permitirá a los proveedores de servicios agrícolas y financieros apoyar a los potenciales usuarios y usuarias de

SPIS con información actualizada sobre los pros y los contras de la tecnología y sus componentes individuales.

DESCRIPCIÓN BREVE DEL MÓDULO

En comparación con los sistemas de energía convencionales, la utilización de energía solar posee algunas características específicas que es preciso considerar a la hora de planificar un sistema de riego solar (v. módulo **DISEÑA**).

Los pasos a seguir para su implementación son descritos en detalle, considerando las distintas configuraciones posibles y los componentes individuales disponibles en un SPIS que opera bajo condiciones variables debido a fluctuaciones diarias y estacionales.

El capítulo incluye además la descripción de cada uno de los componentes de un SPIS y de las relaciones entre ellos, precedida de informaciones básicas sobre la energía solar y el riego. Cuando la energía solar y el riego se combinan en un sistema de producción agrícola, estamos ante lo que llamamos un sistema de riego solar. En este módulo y en el módulo **DISEÑA** se presentan configuraciones típicas de SPIS.

1. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR Y EL RIEGO

LA ALTERNATIVA SOLAR

Cuando las tecnologías tradicionales de bombeo —como las bombas manuales o las de tracción animal— alcanzan sus límites técnicos, los medios habituales de bombear agua para riego son las bombas de petróleo, gas o gasolina. Pero tales bombas convencionales poseen la doble desventaja de requerir mucho mantenimiento y un suministro regular de combustible, además de la presencia física de personal para su operación. Sobre todo, en zonas remotas en países en desarrollo, el acceso a piezas de recambio, estructuras de mantenimiento o combustible puede ser limitado, lo que da lugar a frecuentes interrupciones de varios días o incluso más prolongadas.

La consiguiente falta de agua puede ser motivo de pérdidas en la cosecha, y supone por tanto un grave riesgo para la explotación agrícola.

En lugares no electrificados, la energía solar puede ayudar a proporcionar acceso a un suministro de electricidad seguro y respetuoso con el medio ambiente. Precisamente en los países en desarrollo, las perspectivas de que la red eléctrica se extienda y alcance las zonas rurales son todavía lejanas. La electrificación de zonas rurales económicamente débiles en África, Asia y Latinoamérica estará basada en gran medida en inversiones en soluciones de electrificación local básica, fuera de la red, para usos domésticos consuntivos, sin que se preste mayor atención a los usos productivos de la energía.



Acceso a la electricidad dondequiera que el sol brille

(Fuente: Lennart Woltering)

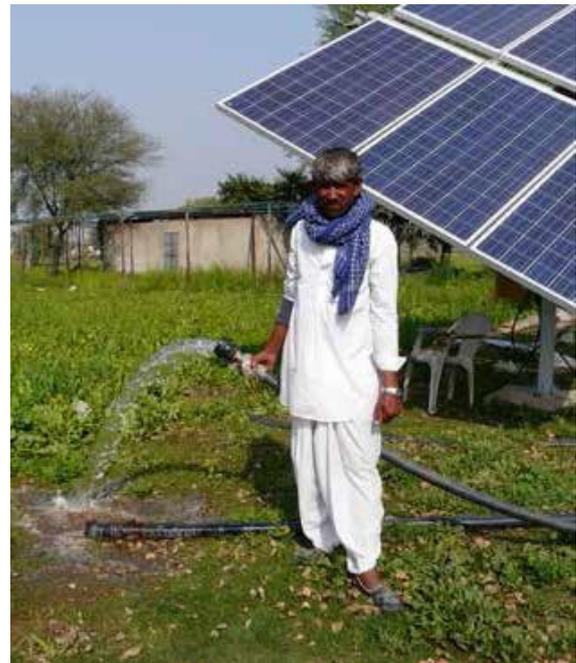
Una vez adquiridos los conocimientos necesarios para operar y mantener de manera adecuada una bomba solar fotovoltaica, la probabilidad de que ocurran fallos es mucho menor que en los sistemas de bombeo convencionales.

Las bombas solares para riego han ido cobrando importancia desde 2010. La India, por ejemplo, cuenta con un amplio mercado de tecnología de SPIS. Hay en funcionamiento más de 12 millones de equipos de bombas eléctricas y 9 millones de bombas diésel que proporcionan agua para alrededor de 39 millones de hectáreas de tierras de regadío. Si sólo el 50 % de estas bombas diésel se remplazara con equipos de bombeo solar fotovoltaico, el consumo de petróleo en esta región podría reducirse a alrededor de 225 mil millones de litros por año.

Pero hay más ventajas para el medio ambiente. Un sistema solar que reemplaza a una unidad generadora diésel típica ahorra alrededor de 1 kg de CO₂ por kilovatio hora de generación. Esto ya tiene en cuenta las emisiones durante el ciclo de vida del sistema FV. Además, el bombeo solar FV también ayuda a evitar el riesgo de contaminación de suelos y de aguas subterráneas con combustibles y lubricantes. Un motor diésel produce alrededor de 300 kg de aceite residual durante su vida útil, y no siempre está garantizada su eliminación segura y respetuosa con el medio ambiente. Por otra parte, si los sistemas FV no se dimensionan y planifican de forma adecuada, existe el riesgo de un bombeo excesivo de las aguas superficiales y subterráneas, habida cuenta de que el suministro de luz solar para el bombeo es ilimitado (v. módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**).



Motobomba vieja de diésel
(Fuente: Andreas Hahn, 2015)



Trabajador agrícola experimentado en energía FV
(Fuente: Andreas Hahn, 2015)

CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA SOLAR

Radiación solar

La energía solar tiene algunas características que es preciso considerar a la hora de planificar un sistema de riego con energía solar. La radiación solar captada por un panel solar nunca es constante, debido a las variaciones diarias y estacionales a que está sujeta. La intensidad de la radiación solar sobre una superficie recibe el nombre de "irradiancia" (S). La irradiancia se mide en vatios dividido por metro cuadrado [W/m²].

La irradiancia varía en el transcurso del día, alcanzando valores máximos de alrededor de 1.000 W/m² si se mide sobre una superficie horizontal, a nivel del mar y en torno al mediodía en un día despejado. La energía transportada por la radiación incidente sobre una superficie durante cierto periodo de tiempo recibe el nombre de "radiación solar global" (G). 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 dividido por metro cuadrado [kWh/m²].

Ángulo de inclinación

La mayoría de los paneles solares se instala con un ángulo de inclinación "α" fijo para aumentar el rendimiento energético. El ángulo de inclinación depende del sitio y debe ser calculado. Esto puede hacerse

fácilmente con la ayuda de herramientas de software tales como la base de datos meteorológicos METEONORM, que proporciona datos climáticos para casi cualquier sitio del mundo. Una estimación rápida del ángulo de inclinación adecuado puede hacerse a partir de la latitud del lugar en que está instalado el sistema de bombeo.

Así, los valores típicos del ángulo de inclinación pueden estimarse recurriendo a la siguiente regla:

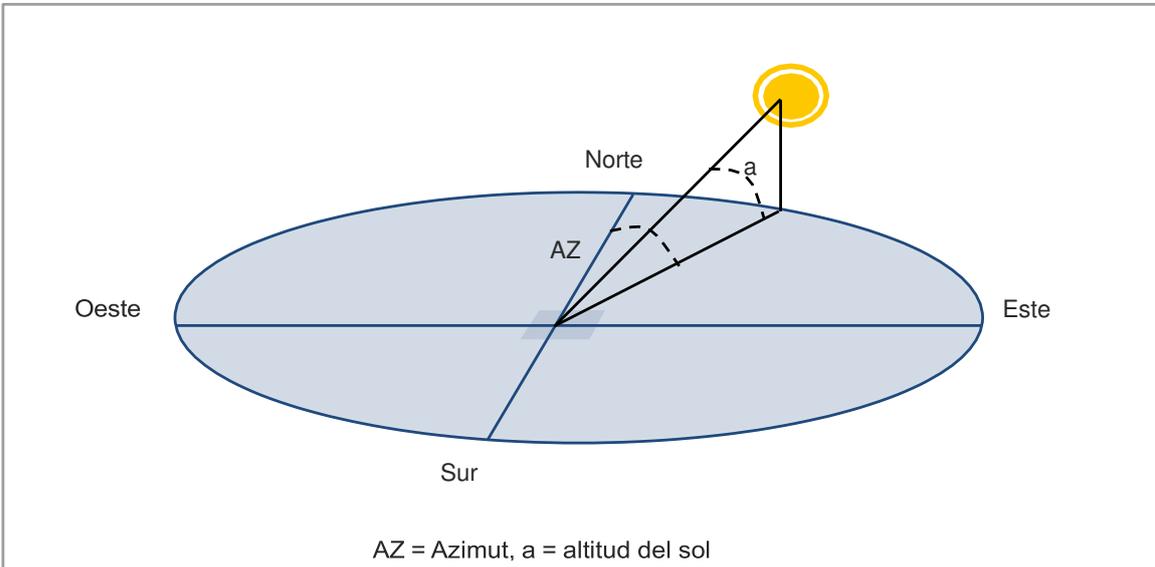
$$\alpha = \text{valor absoluto de la latitud geográfica} + / - 10^\circ$$

Para permitir que el polvo acumulado y el agua de lluvia se escurran sobre la superficie del panel, el ángulo de inclinación debería ser como mínimo de 15°, incluso si el sistema está instalado próximo al ecuador. Para ajustar las aplicaciones, en los meses de invierno el ángulo de inclinación puede aumentarse en hasta +10°, y en los meses de verano disminuirse en hasta -10°.

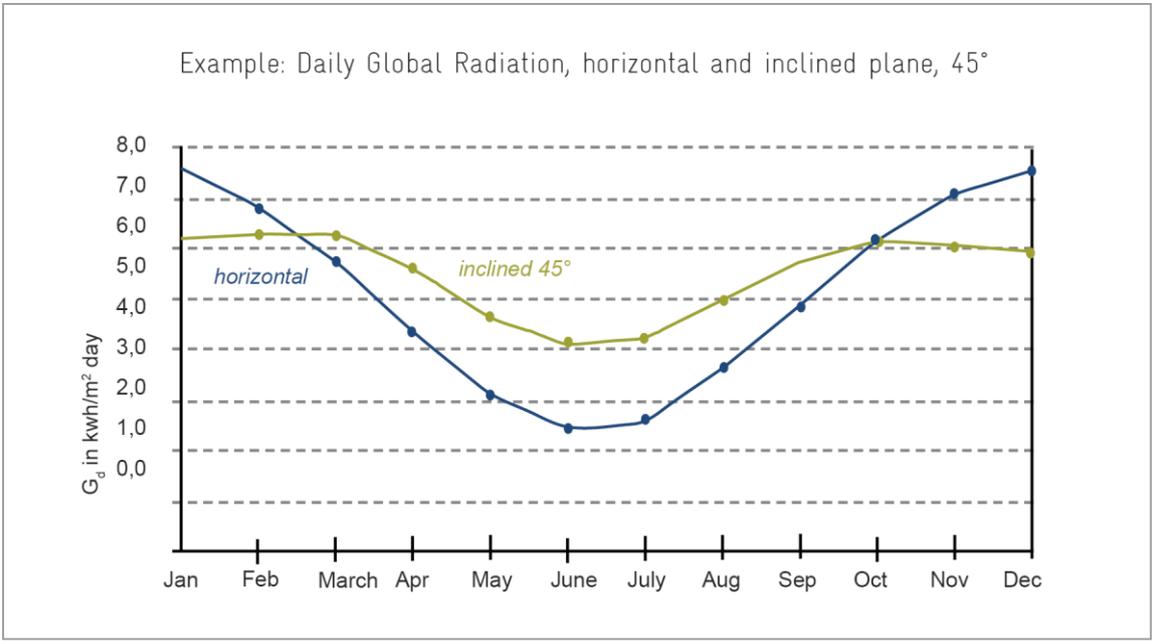
Orientación del generador solar

Al objeto de maximizar el rendimiento energético, en el hemisferio norte los paneles deben colocarse mirando hacia el sur, mientras que en el hemisferio sur deben orientarse hacia el norte. Es posible desviarse de la orientación norte/sur verdadera, pero ello disminuirá el rendimiento energético global.

Otro método para aumentar el rendimiento energético de un generador solar es el seguimiento solar (v. apartado 2).



Movimiento diario del sol en el hemisferio sur
(Fuente: Reinhold Schmidt 2012)



Cambio de la radiación global incidente en una superficie horizontal y en otra inclinada en el transcurso del año
(Fuente: Reinhold Schmidt, Aplicaciones de energía solar fotovoltaica; diseño, implementación, experiencias, junio de 2012)

PRINCIPIOS DEL RIEGO

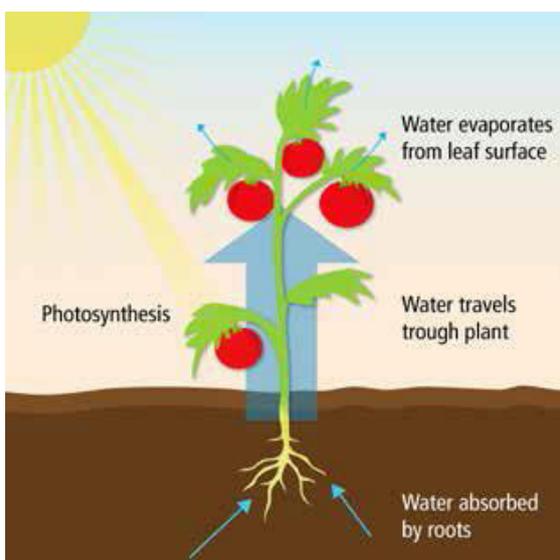
El riego es la aplicación controlada de agua para responder a las necesidades de los cultivos. El agua utilizada para ello puede extraerse de lagos, reservorios, ríos o pozos (aguas subterráneas) cercanos, o también de fuentes no convencionales, tales como aguas residuales tratadas y aguas desaladas o de drenaje agrícola. El agua de riego es llevada a las tierras de cultivo por tubos, mangueras o zanjas.

Los productores y productoras que recurren al riego dependen menos de las precipitaciones para la explotación de sus tierras, ya que pueden suplir las lluvias con irrigación para aportar a los cultivos la cantidad de agua necesaria. Además, el control del agua mejora la eficiencia de otros insumos —tales como fertilizantes y productos fitosanitarios— que mejoran el rendimiento de las cosechas. Así, el riego refuerza la capacidad del productor o productora de controlar el rendimiento de

sus cultivos, lo que es importante para una productividad estable y la integración en los mercados.

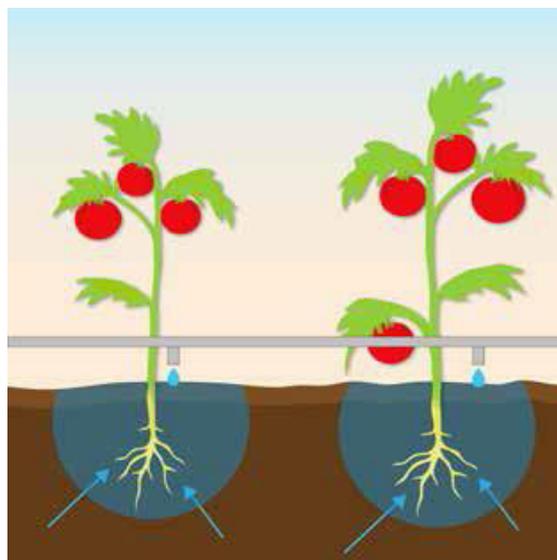
Con el riego se repone el agua almacenada por el suelo en la zona radicular de los cultivos. Impulsadas por el sol y la fotosíntesis, las plantas captan la humedad del suelo a través de sus raíces, dando origen a un flujo de nutrientes que circula por el tronco o tallo y llega hasta las hojas, donde el agua es devuelta a la atmósfera a través de la **transpiración** foliar. Así, sólo el agua absorbida a través del sistema de raíces contribuye al crecimiento de la planta y sus frutos.

Importante: La mayor parte del agua aplicada a las tierras de cultivo a través del riego debe concentrarse en la zona radicular de las plantas, y el volumen del agua de riego no debe exceder la capacidad de absorción de las plantas.



La fotosíntesis convierte la energía de la luz solar en energía química, que da origen a un flujo de nutrientes en la planta.

(Fuente: GFA)



En el sistema de riego por goteo, el agua es aplicada directamente allí donde se la necesita; esto es, en la zona radicular.

(Fuente: GFA)

NECESIDADES DE AGUA

La cantidad de agua que una planta necesita se expresa como “necesidades de agua de los cultivos” (CWR por sus siglas en inglés). Ella depende del clima y el cultivo, así como también de la gestión y las condiciones ambientales. Esta necesidad de agua es más elevada en zonas soleadas, calurosas, secas y ventosas. La especie, la variedad y la etapa de crecimiento de los cultivos determinan la cantidad de agua que las raíces necesitan absorber para que la planta se desarrolle en condiciones óptimas. Los productores y productoras pueden reducir las necesidades de agua de los cultivos, por ejemplo, mediante el acolchado o mantillo (*mulching*), modificando la densidad de las plantas o aplicando tecnologías de riego diferentes.

Así, las necesidades de agua de un cultivo determinado dependen en gran medida de la ubicación y varían día a día. Para calcularlas, es preciso recoger datos regionales in situ con el apoyo —por ejemplo— de los servicios de extensión locales (v. módulo **DISEÑA**). Las necesidades de agua de los cultivos se expresan comúnmente en milímetros (mm) o metros cúbicos por hectárea (m³/ha). Por lo normal, los cultivos requieren diariamente alrededor de 5 a 30 m³ de agua por hectárea. Los detalles de esta evaluación se describen en el módulo **DISEÑA**.

Es importante hacer notar que el agua es un bien que tiene su precio (tarifas, costos de bombeo) y un recurso escaso por el que compiten otros usuarios y usuarias (industria, sector energético, consumo doméstico, etc.). Esto debería tenerse en cuenta en las evaluaciones de viabilidad económica y ambiental.

EFICIENCIA DEL RIEGO

Cuando se riega, es importante aplicar la cantidad justa de agua en el momento justo. Un volumen de agua deficitario llevará a que las plantas se marchiten y a una reducción del rendimiento. Un volumen

excesivo llevará al desperdicio de agua, así como a un aumento de la escorrentía, la erosión, la lixiviación de nutrientes a través del suelo y la salinización, dando lugar finalmente a una reducción del rendimiento. Un sistema de irrigación eficiente al 100 % debería proporcionar a todas las plantas del campo la misma cantidad de agua. No obstante, ocurre que las plantas próximas a la fuente de agua tienden a recibir más agua que las situadas en el otro extremo del campo. Como consecuencia, los rendimientos de la explotación se ven comprometidos por el hecho de que algunas plantas reciben demasiada agua, mientras que otras no reciben suficiente. En las grandes explotaciones, esto puede tener graves consecuencias en los gastos de operación y la gestión de los recursos hídricos. La uniformidad de la distribución del agua en el campo de cultivo está determinada por la elección de la tecnología de riego. Los tres métodos de riego comúnmente utilizados son:

- riego de superficie;
- riego por aspersión;
- riego por goteo.

Los métodos de irrigación por superficie, tales como los de riego por inundación, por surcos y por tablares, no consiguen más de un 60 % de eficiencia en la aplicación del agua al campo de cultivo, dado que sólo una cantidad limitada de agua alcanza realmente la zona radicular.

Los sistemas de riego por aspersión y por goteo recurren a una red de tubos para distribuir el agua en el campo de cultivo, reduciendo de este modo las pérdidas por evaporación que son comunes a los métodos de riego de superficie. Los sistemas de aspersión logran una eficiencia media de aplicación al campo de cultivo del 75 %, mientras que los sistemas por goteo pueden llegar a un 95 % de uniformidad en la distribución. El riego por goteo permite liberar agua lentamente en la zona radicular de las plantas. Como resultado, las condiciones de humedad del suelo son buenas, y no hay pérdidas de

agua entre las plantas o sobre ellas. Los rendimientos de las cosechas pueden duplicarse, y es posible lograr ahorros importantes de agua, energía y trabajo.

SISTEMAS DE RIEGO SOLAR

El uso de energía solar con fines de irrigación puede ser de gran utilidad, ya que habitualmente el riego se practica en zonas rurales que tienen poco acceso a un suministro fiable de electricidad o de combustibles fósiles. Por otro lado, la radiación solar es un recurso abundante en muchos países en desarrollo en los que el riego es esencial para la seguridad alimentaria y el comercio internacional. Y finalmente, los sistemas de riego con energía solar (SPIS) se autorregulan pasivamente, dado que el volumen de agua bombeado aumenta en los días despejados y calurosos en que las plantas necesitan más agua, y a la inversa. Es importante señalar que un SPIS es algo más que una simple bomba solar utilizada para el riego. Los paneles, las bombas y los sistemas de riego están diseñados en función de la disponibilidad de agua y las necesidades de agua de los cultivos locales. El SPIS es un sistema en el que los diferentes componentes, desde la bomba hasta la planta, están integrados y armonizados.

Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de un SPIS es sencillo. Un generador solar proporciona electricidad para una bomba accionada por un motor eléctrico, la cual suministra agua ya sea directamente a un sistema de riego, o bien a un reservorio elevado. Entre los criterios fundamentales para el diseño de un SPIS figuran un mínimo de mantenimiento, una máxima confiabilidad y el uso eficiente de los recursos. Una característica específica de los SPIS es el hecho de que por lo general no requieren respaldo de batería. Esto es una ventaja, ya que las baterías exigen un mantenimiento intensivo, son costosas y se deben reemplazar regularmente.

Componentes de un SPIS

Los componentes individuales de un SPIS se presentan en los próximos apartados. La tabla más abajo muestra que hay disponibles diferentes opciones de tecnologías que dependen de las condiciones específicas del lugar y las capacidades de los productores y productoras. Los componentes y las alternativas tecnológicas pueden combinarse unas con otras de muchas maneras diferentes, pero algunas configuraciones resultan mejores atendiendo a la situación in situ.

Principales alternativas tecnológicas para los componentes más importantes de un SPIS

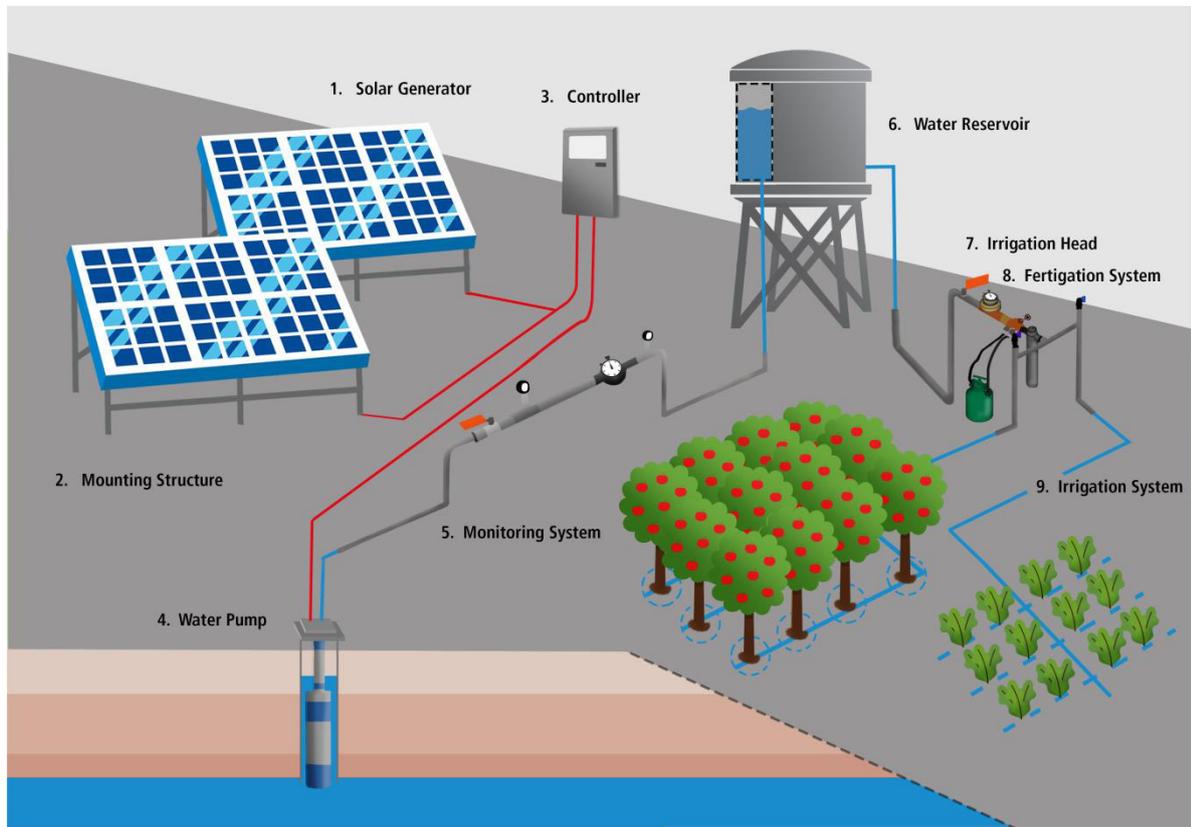
Componente	Posibilidades tecnológicas		Dependiendo de:
Sistema solar	fijo	con seguimiento	los costos y la intensidad del mantenimiento
Bomba	de superficie	sumergible	los costos y la (geo)hidrología
Reservorio	con reservorio	sin reservorio	los costos y el sistema de riego
Sistema de riego	de superficie	por goteo o aspersión	los costos y el sistema de bombeo

Configuraciones del SPIS

La configuración más común de los SPIS es la que consta de un generador solar colocado sobre una estructura de montaje fija, que proporciona electricidad para una bomba sumergible instalada en un pozo de sondeo. Esta bombea agua a un reservorio elevado unos metros por encima del campo de cultivo. Allí, el agua es almacenada a una presión constante y liberada a un sistema de riego por goteo de baja presión, donde es filtrada y mezclada con fertilizantes antes de ser liberada lentamente a las plantas. La figura de más abajo muestra esta configuración.

Pero la instalación de un filtro de agua a la salida del tanque puede resultar crítica o problemática, dado que las pérdidas de presión en el filtro puede que alcancen fácilmente varios metros y que, a una altura baja del tanque, el flujo de agua acabe deteniéndose por completo. Por lo tanto, es recomendable instalar el filtro a la entrada del tanque para mantener el agua limpia en su interior. Se recomienda usar un tanque de agua cerrado.

Esta configuración también sería posible con un sistema de seguimiento solar, pero este requeriría una mayor inversión económica y más mantenimiento que el montaje fijo de los paneles solares. El reservorio elevado proporciona al sistema de riego por goteo una presión y un suministro de agua estables para conseguir una distribución del agua lo más uniforme posible. El desempeño del riego por goteo disminuye cuando pequeñas partículas suspendidas en el agua obstruyen los goteros. Los filtros impiden que esto suceda, pero sólo a condición de que estén diseñados correctamente para la calidad del agua y el sistema de riego previstos, y sólo si se limpian con regularidad. Esto tiene mayor importancia en el caso de usar agua superficial dado que éstas están por lo general menos limpias que el agua subterránea.. Se recomienda contar, además, con un sistema de monitoreo instalado entre la bomba y el reservorio a fin de medir el flujo de agua y la presión.

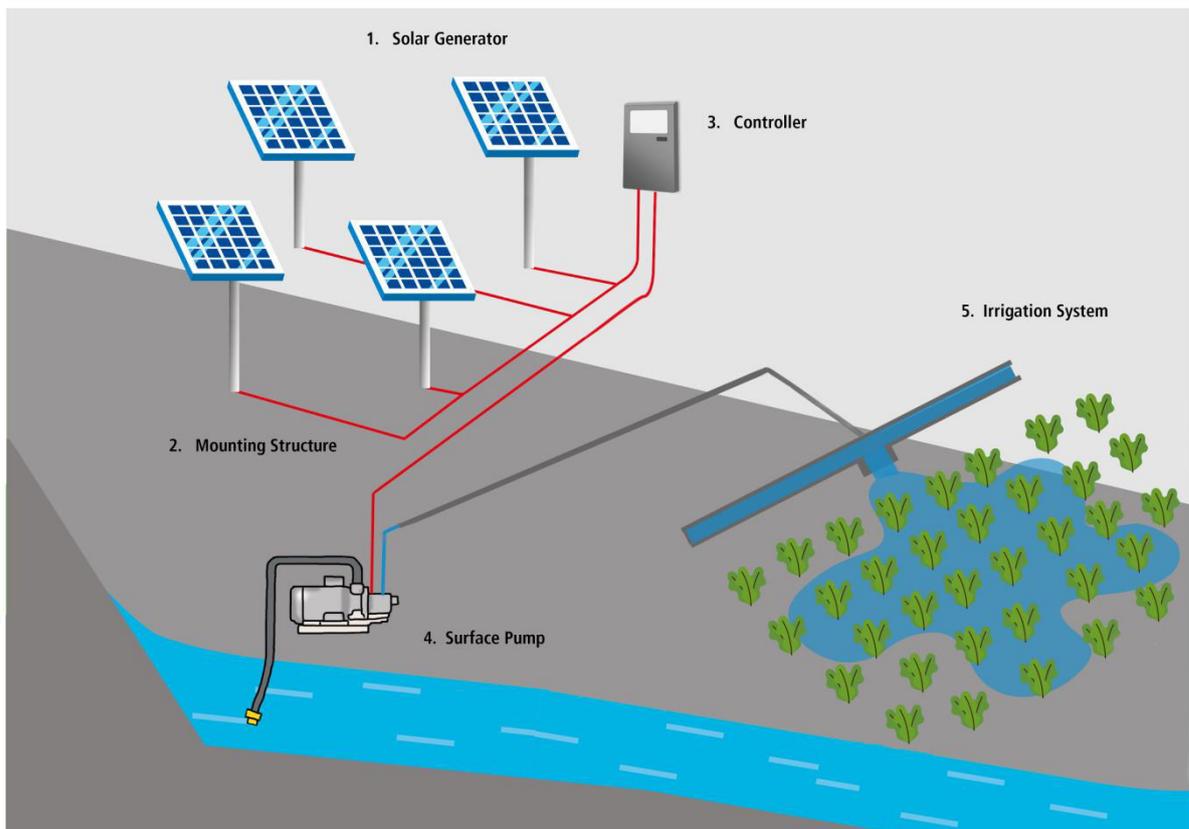


Configuración según mejores prácticas de los diferentes componentes de un SPIS
(Fuente: GFA)

La configuración más sencilla de un SPIS es la que consta de un generador solar montado sobre una estructura fija que suministra electricidad para una bomba de superficie instalada en un reservorio o río, la cual bombea agua directamente a un sistema de riego de superficie, por ejemplo, a través de una red de canales abiertos. En esta configuración, el agua bombeada no pasa por un reservorio elevado. La presión y el caudal de bombeo al sistema de riego guardan relación con la irradiancia solar real, la cual varía en el transcurso del día, sobre todo tratándose de un generador solar fijo. La principal ventaja de esta configuración es su sencilla instalación y su costo relativamente bajo. No obstante, su

desventaja radica en que el productor o productora tiene poco control de la distribución del agua en el campo durante el día, debido a que no hay un reservorio elevado que regule la presión y el flujo. El productor o productora tendrá que utilizar, por ejemplo, válvulas volumétricas (v. CABEZAL DE RIEGO) o dividir su campo en sectores manejables para controlar el riego del cultivo lo mejor que pueda.

Otra configuración que se puede encontrar en terreno es la que corresponde a soluciones **híbridas**, en las que se utilizan para el riego bombas tanto solares como de diésel.



Configuración sencilla –con sistema de monitoreo– de los diferentes componentes de un SPIS

(Fuente: GFA)

2. GENERADOR SOLAR

El generador solar proporciona la energía necesaria para el funcionamiento de la unidad motor-bomba. Consiste en un conjunto de paneles solares, los cuales están formados a su vez por celdas solares individuales. Éstas utilizan lo que se conoce como “efecto fotovoltaico” para convertir la luz solar directamente en electricidad. Las celdas solares están hechas de materiales semiconductores especialmente preparados, tales como el silicio cristalino. Cuando la luz incide en la superficie del semiconductor, se genera un campo eléctrico. Este efecto es óptimo cuando los rayos del sol inciden directamente en las celdas, pero también se produce en condiciones de radiación solar indirecta. En un día nublado, los paneles solares pueden producir normalmente entre un 10 y un 25 % de su capacidad nominal. Conectando un cable a la cara posterior de la célula solar, el voltaje del campo eléctrico hace que fluya una corriente eléctrica.

La celda solar

Para proteger las celdas de tensiones mecánicas y humedad, las cadenas de celdas vienen encapsuladas en un material adhesivo transparente (p. ej., etilvinilacetato [EVA]) que también brinda aislamiento eléctrico. Para estabilizar la estructura y proporcionar aislamiento eléctrico, las celdas se colocan habitualmente entre una capa de plástico que cubre su cara posterior, y otra de vidrio que cubre su cara externa. El laminado final queda protegido por un marco de aluminio que permite la instalación del panel solar sobre una estructura de montaje.

Los paneles solares suelen estar certificados por la Comisión Electrotécnica Internacional¹ (IEC por sus siglas en

inglés), cuyo certificado de aprobación se ha convertido en uno de los testimonios de calidad de paneles solares mundialmente aceptados. No obstante, las pruebas estándar de la IEC no evalúan la durabilidad de los módulos solares por un periodo de 25 años. Los paneles estándar vienen normalmente con una garantía del producto de 10 años y una garantía de desempeño lineal de 25 años que promete como mínimo un 80 % de la potencia máxima al final del año 25.

Nota: Los paneles solares se evalúan en vatios pico (Wp) según su potencia máxima en las condiciones estándar de medida (CEM) definidas a nivel internacional:

(irradiancia = 1.000 W/m², temperatura de la célula = 25°C, masa de aire (AM) = 1,5)

La potencia eléctrica de los paneles depende principalmente de la irradiancia solar captada por el panel y la temperatura de la celda solar, la cual aumenta considerablemente en condiciones normales de operación, y puede alcanzar fácilmente 40 a 65 °C, dependiendo de las condiciones específicas del sitio. Esto da lugar a una producción de electricidad menor que bajo condiciones estándar de medida. El coeficiente de temperatura (CT) indica la reducción de potencia por cada °C de aumento de temperatura; para silicio cristalino es de aproximadamente -0,5 % por °C.

El conjunto de paneles solares puede estar conectado en serie, en paralelo o de forma mixta, dependiendo de la energía eléctrica requerida (voltaje, corriente y potencia). Combinar paneles solares en serie significa conectar el terminal positivo de un panel con el terminal negativo del próximo. Ello permite elevar el voltaje al nivel requerido (a diferencia de la conexión

¹ IEC – Normas internacionales y sistemas de evaluación de la conformidad para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y afines.

en paralelo, que permite aumentar la intensidad de la corriente o amperaje).

3. ESTRUCTURA DE MONTAJE

La potencia de un panel solar depende no sólo de la irradiancia y la temperatura de la celda, sino también de la orientación y del ángulo de inclinación de la superficie del panel. Para maximizar la potencia, deberá hallarse la orientación óptima característica del sitio.

Opciones de montaje:

Existen básicamente dos alternativas para el montaje de paneles solares sobre una estructura de metal:

- instalación con ángulo de inclinación fijo;
- instalación sobre un seguidor solar con orientación variable.

La instalación fija de los paneles solares sobre una estructura rígida es el método más económico, fiable y común. Para los sistemas de mayor tamaño, se recomiendan por lo general soportes metálicos que se hunden en el suelo con martinete. Estos hacen innecesaria la cimentación con hormigón y permiten ahorrar costos de mano de obra y materiales. En los países en desarrollo se hace a menudo una cimentación sencilla con hormigón en las instalaciones de menor tamaño, representando esta práctica una solución apropiada siempre que se cumplan los requisitos de estática. La instalación se orienta normalmente hacia el norte o el sur a fin de contar con una distribución de la producción energética relativamente buena a lo largo del día.

Cuando la estructura de montaje cambia su orientación con respecto al sol moviéndose en torno a uno o dos ejes, se dice que estamos ante un **seguidor solar** (v. figura en la próxima página).

El seguimiento solar tiene dos ventajas:

- incremento de la radiación solar captada – la cantidad de radiación solar recibida por los paneles solares aumenta entre un 25 y

35 % (valor medio anual), dependiendo del tipo de seguidor y el sitio de la instalación;

- distribución uniforme de la irradiancia solar a lo largo del día; la electricidad generada, al igual que el flujo de agua de la bomba, permanecen casi constantes a lo largo del día. Esto es importante en una configuración de SPIS en que el agua es bombeada directamente al campo, sin pasar por un tanque.

Desventajas del seguimiento solar:

- el seguimiento solar es costoso y aumenta considerablemente el costo total del sistema;
- las partes mecánicas y el motor eléctrico del sistema de seguimiento requieren un mantenimiento regular y piezas de recambio.

Esto debe tenerse en cuenta especialmente cuando las instalaciones planificadas están destinadas a usuarios o usuarias de zonas apartadas o de sitios con servicios técnicos limitados.

Una alternativa interesante y relativamente nueva al seguimiento solar pueden ser las **instalaciones orientadas en las direcciones este y oeste**, aunque éstas requieren más paneles para obtener una producción energética estable a lo largo del día. Pero con la caída de los precios de los paneles, esta podría ser una alternativa interesante para las zonas apartadas y los sistemas de menor tamaño, dado que son más baratas y requieren mucho menos mantenimiento (que las soluciones de seguimiento solar).

Para ambas opciones de montaje, es importante evitar la corrosión galvánica que se produce al conectar estructuras de metal. Esta puede evitarse seleccionando materiales con potenciales de corrosión

similares, o rompiendo la conexión eléctrica mediante el aislamiento de los metales.

La estructura de montaje y el robo

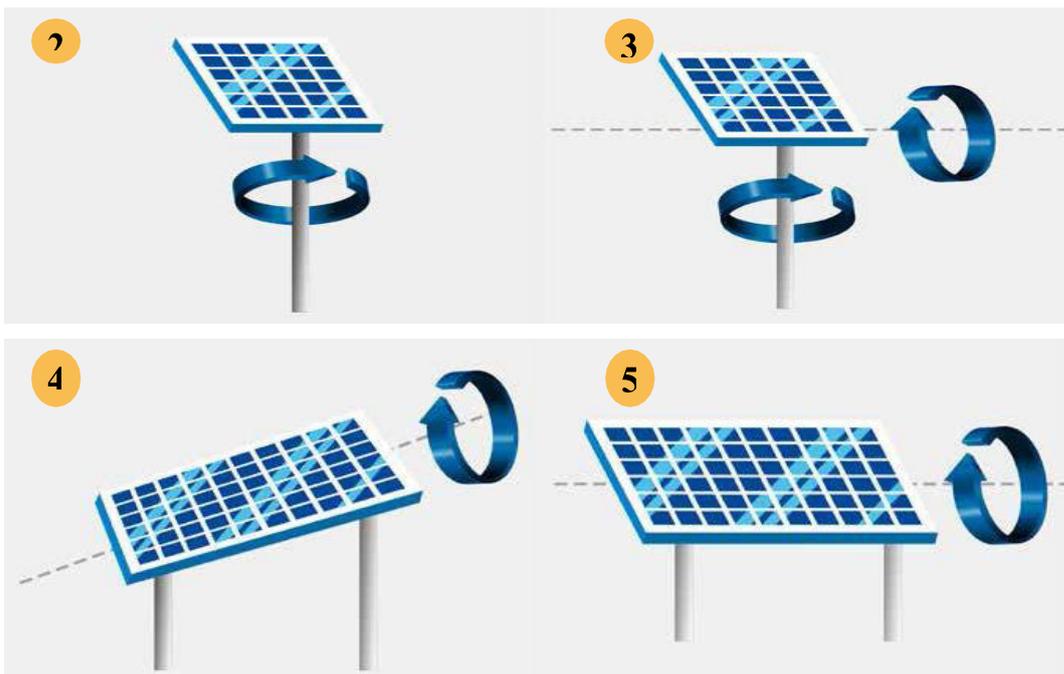
El tipo y la calidad de la estructura de montaje son también un factor determinante en lo que respecta al riesgo de robo de los paneles fotovoltaicos. Con la creciente difusión de las instalaciones fotovoltaicas aplicadas a la generación de energía, ha ido aumentando también el riesgo de robo. Entre las medidas corrientes de prevención de robo figuran:

- uso de tuercas de seguridad;
- pintar con aerosol indeleble la identificación del propietario en la cara posterior de los paneles;
- integrar los paneles solares en la estructura de montaje (no extraíble);
- colocar la estructura de montaje en sitios de difícil acceso, recurriendo para ello a estructuras elevadas, cercas o sistemas fotovoltaicos flotantes.



Sistemas solares (Fuente: Reinhold Schmidt, 2015):

1. instalación fija
2. seguidor de un eje, azimut
3. seguidor de dos ejes, azimut e inclinación
4. seguidor de un eje, inclinación del eje sur/norte
5. seguidor horizontal de un eje, eje norte/sur.



4. MOTOR, UNIDAD DE CONTROL / INVERSOR

Motor eléctrico

Los generadores solares siempre producen corriente continua (CC). En relación a los motores que dejan girar la bomba existen diferentes tipos de motores que se utilizan en aplicaciones con sistemas fotovoltaicos:

- Motores de corriente continua CC **con** escobillas, estos motores son relativamente económicos pero la principal desventaja de estos es que éstas están sujetas a desgaste y deben reemplazarse a intervalos regulares (1 – 2 años); se usan en aplicaciones muy pequeñas por ejemplo de agua potable.

- Motores de corriente continua CC **sin** escobillas, las motobombas solares usan normalmente este tipo de motor y destacan por su alta eficiencia; es un motor sincrónico trifásico con imanes permanentes como rotor y usa una conmutación electrónica (inversor).

- Motores **convencionales** mono o trifásicos que requieren también un inversor en operación junto con un generador solar.

En las aplicaciones de bombeo/riego se usan normalmente motores de CC sin escobillas (conmutación electrónica) o motores convencionales de corriente alterna. En consecuencia, se necesita una unidad de control o inversor entre el generador solar y el motor.

Unidad de control/inversor

Esta unidad de control o inversor cumple principalmente dos funciones: primero, el seguimiento del punto de máxima potencia

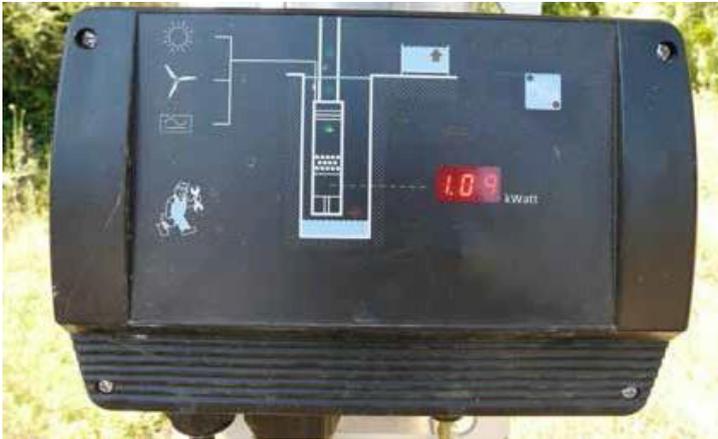
(MPPT por sus siglas en inglés) para maximizar la utilización de la potencia producida por el generador solar y segundo, el inversor que convierte la corriente continua del generador solar en corriente alterna trifásica de frecuencia variable, es decir la bomba puede girar con diferentes revoluciones.

Además, el control o inversor tiene incorporado la opción de conexión de sensores externos, por ejemplo, un sensor instalado en el pozo para evitar una marcha en seco de la motobomba y un sensor de nivel que controla el nivel de agua en el tanque de acumulación.

El mercado ofrece hoy dos diferentes configuraciones de sistemas de bombeo solar:

1. La motobomba solar: es un paquete de la motobomba junto con la unidad de control/inversor. Estos sistemas tienen una muy alta eficiencia y destacan por su confiabilidad técnica, larga vida útil y muy fácil instalación y operación, pero también presentan un mayor costo de inversión inicial

2. La motobomba convencional con inversor solar de bombeo: se usa en esta configuración una motobomba convencional mono o trifásica en conjunto con un inversor solar para bombeo; principal ventaja es el menor costo inversión inicial, pero requiere más conocimientos en el diseño y operación del sistema.



Controlador con visualizador e
indicador LED de fallo

(Fuente: Andreas Hahn, 2015)

5. BOMBA DE AGUA

A la hora de instalar una bomba de agua existen, dependiendo de la fuente de agua, dos posibilidades: que la bomba sea sumergible, o de superficie. Las bombas de superficie se instalan a menudo junto a la fuente de agua, y aspiran el agua por succión. Las bombas de superficie pueden bombear agua desde una profundidad máxima de seis metros. Las bombas sumergibles se instalan bajo el agua en pozos y perforaciones de sondeo, e impulsan el agua hacia la superficie.

Las bombas sumergibles se instalan a profundidades que van de 10 a 120 metros. Utilizando interruptores de control (tales como flotadores en tanques y pozos de agua), las bombas sumergibles pueden operarse en modo automático, al contrario de las bombas de superficie, que suelen requerir la presencia de un operador u operadora que compruebe regularmente el comportamiento de cebado de la bomba. La utilización de cámaras primarias y válvulas antirretorno puede evitar la pérdida de cebado.

Las bombas de superficie poseen varias ventajas en comparación con las sumergibles: son más baratas, más fáciles de instalar y de fácil acceso para su mantenimiento, y pueden utilizarse para una fertirrigación fácil y sencilla por su lado de succión/entrada.

Las bombas de agua solares se construyen por lo general de acero inoxidable no corrosivo, y están diseñadas para bombear agua limpia sin sólidos ni fibras. La vida útil de una electrobomba sumergible depende en gran medida de la calidad del agua y la instalación. Si la bomba está instalada en un pozo perforado bien revestido (y por tanto con reducida intromisión de sedimentos), las bombas sumergibles pueden alcanzar una duración de 7 a 10 años. En los pozos y perforaciones de sondeo muy mal contruidos y con alto contenido de sedimentos, la parte hidráulica de la bomba de agua puede que

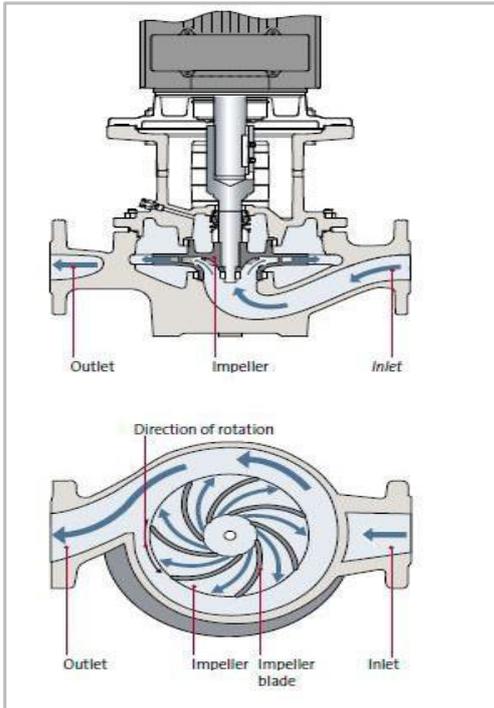
deba reemplazarse al cabo de 2 o 3 años. A fin de prever un funcionamiento seguro del sistema, son necesarios dos elementos de seguridad:

- sensor de nivel de agua instalado en el tanque de almacenamiento que apague la bomba a fin de evitar desbordamientos;
- segundo sensor de nivel de agua instalado cerca de la motobomba en el pozo para evitar la marcha en seco de la bomba.

Hay dos tipos de bombas habituales en los sistemas de bombeo solar actuales; a saber, las bombas centrífugas, y las de rotor helicoidal.

Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga genera un incremento de presión transfiriendo al fluido energía mecánica del motor a través del impulsor rotatorio. El fluido fluye a través de la entrada al centro del impulsor, y las paletas de éste lo transportan hacia afuera. La fuerza centrífuga incrementa la velocidad del fluido, transformándose esta energía cinética en presión. La presión puede aumentarse añadiendo simplemente varias etapas (bombas multietapas) colocadas en serie. Las bombas centrífugas se utilizan por lo general cuando las presiones de bombeo son bajas y la demanda de agua es elevada. Por esta razón, las bombas centrífugas son la opción preferida para los sistemas de riego.



Bomba centrífuga

(Fuente: Grundfos)

Bomba de rotor helicoidal

Una bomba de rotor helicoidal es un tipo de bomba de cavidades progresivas. Al girar un rotor helicoidal dentro del estátor (parte fija o estática), se van formando entre ambos cavidades selladas que transportan hasta la salida de la bomba secciones discretas del material bombeado.

Este movimiento, semejante al de un tirabuzón, produce un flujo libre de pulsaciones, y no se requieren válvulas, dado que el rotor helicoidal sella las secciones discretas de material. El caudal está determinado por la velocidad del rotor, y es independiente de la presión de salida. Las bombas de rotor helicoidal se utilizan típicamente en las aplicaciones con cargas de bombeo elevadas y caudales de agua bajos, tales como las de abastecimiento de agua potable.



Bomba de superficie montada sobre una estructura móvil

(Fuente: Lennart Woltering)

6. SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo, operado por el productor o la productora in situ o en línea, permite leer la presión, el flujo de agua y el nivel de agua, ayudando a evaluar el desempeño del sistema.

Se utiliza para:

- observar y dar seguimiento al funcionamiento y el desempeño del sistema;
- controlar las cantidades de agua bombeada al sistema;
- recoger datos del sistema para la prueba de aceptación tras su instalación; y
- evitar impactos ambientales negativos (p. ej., agotamiento de aguas subterráneas).

En definitiva, el seguimiento es importante para asegurarse de que el sistema funciona dentro de unos límites sostenibles que garanticen la productividad a largo plazo de la explotación.

Algunos fabricantes de bombas solares han incluido sistemas de monitoreo en su cartera de productos. Todos los SPIS deberían contar con un sistema de monitoreo básico que comprenda medidores de presión, un caudalímetro y un medidor del nivel de agua con sonda de inmersión (*dipper*). Este es un instrumento sencillo para comprobar el nivel de agua en un pozo. Al entrar el electrodo de metal en contacto con la capa freática, se enciende una luz, y el valor exacto podrá leerse en la cinta métrica de la sonda. El control repetido del nivel de agua a lo largo del día y posibilita la estimación del comportamiento dinámico del pozo. El nivel dinámico de agua es un parámetro importante para determinar la carga o altura total de bombeo (v. módulo **DISEÑA**).

Sobre todo en los casos en que el agua se bombea directamente al sistema de riego, sin pasar por un reservorio elevado, es

importante vigilar el flujo y la presión del agua en el sistema de riego, dado que la cantidad de agua suministrada a las plantas puede variar mucho a lo largo y ancho del campo. La imagen de más abajo muestra un sistema de seguimiento compuesto por un caudalímetro y medidores de presión, instalados en cada extremo del filtro, los cuales permiten controlar la pérdida de presión del agua al pasar por el filtro.

Un sistema de seguimiento más avanzado incluiría sensores para medir:

- la irradiancia solar (p. ej., sobre superficies horizontales e inclinadas);
- las precipitaciones, la humedad relativa y la velocidad del viento;
- la altura total de bombeo.



Sistema de seguimiento

(Fuente: Reinhold Schmidt, 2015)

Además, el sistema de seguimiento puede ampliarse incorporando sensores instalados en el reservorio y en el propio sistema de riego.

Otros dispositivos de seguimiento más avanzados (y costosos) pueden incluir también el registro automático de datos. El registrador de datos registra y almacena de forma continua todos los parámetros del sistema durante un periodo de tiempo de cierta duración. Programas informáticos especiales permiten llevar a cabo rápidos análisis de datos in situ. En los lugares

apartados no conectados a la red pública, los registradores de datos funcionan a menudo con energía solar, y hasta pueden incluir dispositivos de comunicación modernos (sistema global de comunicaciones móviles [GSM]), con la opción de vigilar el desempeño del sistema a través de teléfonos móviles inteligentes (v. también módulo **MANTENIMIENTO**).

7. RESERVORIO

En un sistema de riego, los reservorios pueden cumplir varias funciones: pueden acumular y almacenar el agua bombeada durante el día, pueden proporcionar presión para que el sistema de riego distribuya el agua en toda el área cultivada y, en los sistemas de riego por goteo de tamaño pequeño, pueden utilizarse para añadir fertilizantes solubles al agua. Teniendo en cuenta que el caudal de las bombas solares varía en el transcurso del día debido a la irregularidad de la radiación solar, un reservorio puede servir para moderar la cantidad de agua disponible para el riego.



Tanque elevado

(Fuente: Andreas Hahn)

Hay muchas maneras de almacenar agua, las cuales van desde los simples reservorios excavados a cielo abierto y los tanques de hormigón o de plástico, hasta los costosos tanques elevados de metal.

Los reservorios abiertos son baratos y relativamente fáciles de construir, pero sus grandes desventajas son las pérdidas de agua por evaporación y la fácil acumulación de desechos y sedimentos, así como el crecimiento de algas. Tales efectos pueden reducirse sensiblemente cubriendo los reservorios de agua, por ejemplo, con una tela de plástico. La evaporación y el desarrollo de algas pueden reducirse instalando los paneles

solares sobre estructuras de montaje flotantes.

Tanques de agua elevados: Esta es la configuración clásica de un sistema de riego con energía solar. El agua bombeada se almacena en un tanque de agua elevado, y el riego funciona por gravedad. El tanque elevado hace las veces de batería en la que la energía se almacena en forma de agua. La presión del sistema de riego depende de la altura del nivel del agua en el tanque de almacenamiento. Este permite también regar antes de la salida del sol. Existen tanques de plástico listos para usar que están disponibles en diferentes tamaños, son fáciles de instalar y no se corroen, como es el caso de los depósitos de metal u hormigón.

Para velar por el funcionamiento seguro del sistema, en el tanque de agua se debería instalar un sensor de nivel de agua que apague la bomba cuando haya que evitar un desbordamiento. Si hay una bomba de agua sumergible instalada en un pozo, se requerirá un segundo sensor de nivel de agua que impida que la bomba funcione en seco. A menudo, tales sensores están integrados por defecto en la unidad motor/bomba. Como los tanques de agua suelen almacenar enormes cantidades de agua, es importante que los cimientos y la estructura de sustento de los mismos cumplan los requisitos de estática.



Reservorio de agua abierto impermeabilizado con lámina de plástico

(Fuente: Jan Sass, 2014)

8. CABEZAL DE RIEGO

El cabezal de riego es la parte del sistema de irrigación en que se gestionan la cantidad, la calidad y la presión del agua (v. también el módulo **RIEGA**). Es indispensable en los sistemas que funcionan bajo presión, como los de riego por aspersión y goteo.

Normalmente, el cabezal de riego cuenta con los siguientes elementos:

- **válvulas** para controlar la cantidad de agua que fluye a las diferentes estaciones de un sistema de riego;
- **filtros** para eliminar partículas que podrían bloquear los emisores de goteros o las boquillas de los aspersores;
- **un sistema de fertirrigación** para añadir fertilizantes solubles al agua de riego;
- **reguladores de presión**.

En los sistemas de riego de superficie, el cabezal de riego puede que disponga únicamente de válvulas, mientras que en

los sistemas de riego por goteo y por aspersión, dispone como mínimo de una válvula y un filtro.

Válvulas

El sistema de irrigación está dividido por lo general en varias secciones a efectos de controlar mejor la cantidad y la presión del agua en el campo. El agua que fluye a cada sección está controlada por válvulas manuales o automáticas. Las válvulas automáticas pueden estar gobernadas por el volumen o el tiempo. El agricultor determina el volumen de riego requerido por sección, y la válvula automática se cierra tan pronto se haya alcanzado el valor previsto. La utilización de válvulas volumétricas se recomienda, en especial, en los casos en que el agua es bombeada directamente al sistema de irrigación sin pasar por un reservorio. Entre las desventajas de las válvulas automáticas se cuentan su costo elevado y la necesidad de reemplazarlas regularmente. Además, se requiere electricidad para operar el dispositivo.



Cabezal de riego con filtro de disco y múltiples válvulas que guían el agua a diferentes secciones del sistema de riego

(Fuente: Lennart Woltering)

Filtro

El filtro es un componente esencial de los sistemas de riego por goteo y por aspersión, dado que reduce el riesgo de obstrucción de las boquillas y los emisores. Las obstrucciones están causadas por material inorgánico, tal como la arena y la arcilla, y orgánico, tal como las algas y las bacterias, que se acumula y atasca los emisores. Los filtros deben limpiarse varias veces al día, dependiendo de la calidad del agua de riego (esto es, de la presencia de sedimentos, sales disueltas, etc.).

Al inicio, un análisis del agua puede proporcionar información sobre el tamaño y la cantidad de partículas presentes en el agua, y a partir de esta información se podrá identificar la tecnología de filtrado más adecuada para el caso. No obstante, puede que ésta no sea una solución factible para todas las explotaciones, ya que es posible que algunas de ellas no tengan acceso a equipos para pruebas o a laboratorios. Las aguas de superficie procedentes de reservorios o ríos requieren un filtrado con mucha mayor frecuencia que las de pozos o sondeos, en los que el agua es filtrada de manera natural por el suelo.

A la hora de elegir un filtro para un SPIS, es importante tener en cuenta que:

- los filtros deben adaptarse al caudal de la bomba;
- la pérdida de presión debida al filtro debería minimizarse y vigilarse;
- el mantenimiento del filtro debería ser fácil, y su tiempo de vida largo.

Hay tres sistemas principales de filtros:

1. Filtro de malla: utiliza una malla de acero inoxidable, polipropileno, nailon o poliéster para separar las partículas presentes en el agua. La pérdida de presión en los filtros de malla tiende a ser elevada, por lo que su uso no está recomendado en SPIS.
2. Filtro de disco: un elemento de filtro de disco contiene una pila de discos

comprimidos con una serie de ranuras solapadas. El agua sin filtrar pasa a través de la pila de discos comprimidos a presión, y es forzada a fluir a través de las ranuras entrelazadas de las anillas de los discos, donde las impurezas quedan atrapadas. La superficie de retención de las impurezas es muy extensa, lo que explica la pérdida de presión comparativamente baja. Para su limpieza manual, las anillas del filtro deben ser sacadas de su envoltorio y lavadas con agua limpia. Cuando se van a utilizar filtros de disco en SPIS, es aconsejable instalar un modelo de tamaño algo mayor a fin de reducir la característica caída de presión —que es proporcional al caudal—, o bien instalar dos filtros que trabajen en paralelo. Los intervalos de mantenimiento deberían ser breves a fin de reducir de manera significativa la pérdida de presión acumulada. Los sistemas de retrolavado automático trabajan con una presión considerablemente más elevada, y por tanto no se ajustan al concepto de minimización de la presión de los SPIS.

3. Filtro de material granulado/arena: estos filtros tienen una gran capacidad para eliminar partículas presentes en el agua. El agua se hace pasar por un tanque de metal lleno de arena, en el que ésta retiene las partículas grandes y pequeñas. Al final, las impurezas quedan retenidas en los espacios entre los granos de arena, lo que hace necesario un retrolavado con agua limpia. Los filtros de arena requieren altas presiones para trabajar y para el retrolavado, lo que los hace menos adecuados para los SPIS.

9. SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN

Fertirrigación o fertigación es la inyección de **fertilizantes** en un sistema de irrigación. El término surge de la combinación de las palabras “fertilizante” e “irrigación”. El sistema de fertirrigación está conectado al cabezal de riego.

La fertirrigación se practica de manera extensiva en la agricultura y la horticultura comerciales, y se utiliza principalmente para añadir la cantidad deseada de nutrientes adicionales al agua de riego. Se aplica por lo general a los cultivos de alto valor, como las verduras y los árboles frutales. Los sistemas de riego por goteo se prestan especialmente bien para la fertirrigación por su frecuencia de operación y por el hecho de que en ellos la aplicación de agua puede ser fácilmente controlada por el productor o productora. Los fertilizantes líquidos representan a menudo un riesgo de obstrucción a causa de las reacciones químicas que suelen producirse entre la materia orgánica e inorgánica en el agua de riego. Para reducir este efecto de obstrucción, es aconsejable lavar el sistema con agua pura después de utilizar fertilizantes líquidos. Los fertilizantes que se presentan como solución pueden inyectarse directamente en el sistema de riego, mientras que los que se presentan en estado seco granular (p. ej., urea) o cristalino deben mezclarse con agua para formar una solución. Teniendo en cuenta la presión operativa relativamente baja (0,2–0,5 bares) de los SPIS, pueden considerarse las siguientes opciones de fertirrigación:

1. tanques de presión diferencial;
2. boquillas Venturi;
3. bombas dosificadoras eléctricas;
4. bombas dosificadoras hidráulicas.

Los tanques de presión diferencial son simples dispositivos de inyección en los que la cantidad de fertilizante inyectada disminuye lentamente con el tiempo, como

al vaciarse un cubo. Estos tanques no son apropiados cuando la concentración química deba mantenerse relativamente constante durante la inyección.

Las boquillas Venturi hacen uso del “efecto Venturi”. Debido a la elevada pérdida de presión de las boquillas Venturi y al hecho de que la presión proporcionada por las bombas de agua fotovoltaicas no es constante (lo que causaría una fuerte fluctuación de la concentración del fertilizante), la boquilla Venturi no está recomendada en un sistema de fertirrigación.

Las bombas dosificadoras eléctricas son los dispositivos de inyección más caros, pero permiten una concentración constante y precisa de los nutrientes inyectados, además de ser sistemas robustos.

Para aplicaciones fuera de la red, **las bombas dosificadoras hidráulicas** instaladas directamente en la línea de suministro de agua son apropiadas para su uso en SPIS. Trabajan con presiones de sistema comparativamente bajas, y las dosis serán directamente proporcionales al volumen de agua que ingresa en la bomba dosificadora, con independencia de las variaciones de flujo y presión que puedan darse en la línea principal.

Por otra parte, la forma más sencilla de fertirrigación es añadir un fertilizante soluble (p. ej., urea) al agua almacenada en el reservorio elevado de un sistema de riego por goteo de baja presión.

El desafío que plantea la fertirrigación es el control de la concentración a lo largo del tiempo. Una sobredosis afectaría al medio ambiente y al presupuesto de costos de producción.

Si para la fertirrigación se utilizan **bombas de superficie**, se recomienda inyectar el fertilizante en la parte de succión de la bomba, ya que ésta es una forma barata, fácil y confiable de fertirrigar.

“Quimigación” es el término genérico que se aplica a la inyección de **fertilizantes**, acondicionadores del suelo y otros productos solubles en agua en un sistema de irrigación. En un sistema de irrigación por goteo, la quimigación puede utilizarse para inyectar productos químicos que diluyen detritos y otros materiales que tienden a obstruir salidas y codos estrechos. Transcurrido cierto tiempo, el agua tratada y los materiales disueltos en ella se expulsan lavando las líneas de goteo. Se necesitará la asistencia de ingenieros de agua para desarrollar un plan de quimigación que se ajuste a las necesidades del agricultor y a la calidad del agua disponible en la explotación.

10. SISTEMA DE RIEGO

En la producción agrícola, el agua es el insumo más importante que requieren las plantas para su crecimiento. “Irrigación” es la aplicación controlada de agua a través de sistemas creados por el ser humano para satisfacer las necesidades de agua de las plantas que las lluvias no pueden cubrir por sí solas. Son varios los métodos que pueden utilizarse para el riego (empezando por el simple método de regar las plantas con un cacharro o un balde). La elección de un sistema de riego particular depende principalmente del cultivo a regar, la disponibilidad de agua, las necesidades de agua de riego y el suministro de energía, así como de la capacidad financiera de la unidad familiar a cargo de la explotación. Las bombas solares suministran agua a la granja, desde donde ésta puede ser recogida para su distribución posterior a mano. Alternativamente, el agua puede ser bombeada directamente al campo de cultivo a través de un sistema de canales (riego de superficie) o tubos (riego por aspersión y por goteo). En principio, las bombas solares pueden utilizarse para suministrar agua a sistemas de irrigación de todo tipo. El tamaño (y el costo) del generador fotovoltaico está determinado principalmente por las necesidades de

agua y presión del sistema de riego. Pero es importante tener en cuenta que los SPIS son relativamente caros, y que para asegurar su viabilidad financiera los productores y productoras necesitan plantar cultivos de alto valor. Por otro lado, los ahorros de agua tendrán una influencia positiva en los costos de inversión para la adquisición del sistema de bombeo solar y en el medio ambiente.

Los sistemas de riego de superficie no siempre son adecuados para la producción de cultivos de alto valor, y están lejos de ser eficientes en cuanto al consumo de agua. No obstante, los SPIS se utilizan ampliamente para riego de superficie por el hecho de que no requieren que el productor o productora adopte un método nuevo de irrigación. Los SPIS no suelen dedicarse al riego por aspersión, porque esta modalidad de riego requiere para su operación presiones de agua relativamente altas, y por tanto precisa generadores fotovoltaicos caros.

Las tecnologías de riego que ahorran agua y trabajan a presiones comparativamente bajas son la opción preferida en conexión con los sistemas de bombeo fotovoltaicos.



Gotero individual (Fuente: Andreas Hahn, 2015)

Los sistemas de irrigación por goteo operan normalmente a presiones altas de 1–10 bares. Afortunadamente, la tecnología ha sido modificada para adaptarse a presiones bajas y una operación más simplificada. Estos sistemas de riego por goteo de baja presión pueden proporcionar una aplicación del agua con un 80 % de uniformidad, incluso desde unos pocos metros de presión. El desempeño

depende en gran medida de la presión, el tamaño del campo bajo riego y posibles pendientes en el terreno. La irrigación por goteo con energía solar es la combinación de dos sistemas que encajan muy bien. La irrigación por goteo es ideal para la producción de cultivos de alto valor, tales como verduras y frutas, y gracias a su alto grado de eficiencia es posible hacer un cálculo bastante conservador del tamaño de la bomba solar.

Aptitud de los métodos de irrigación para su utilización con bombas fotovoltaicas

Método de distribución	Eficiencia típica de la aplicación del agua	Altura típica	Aptitud para su utilización con bombas fotovoltaicas
Riego por inundación	40–50 %	0,5 m	apenas rentable
Canales abiertos	50–60 %	0,5-1 m	depende de las condiciones locales
Aspersor	70–80 %	10-20 m	no
Riego por goteo de baja presión	80 %	1-10 m	sí
Riego por goteo de alta presión	85–95 %	10-100 m	no

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Lecturas complementarias

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith M. (1998): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. En: *FAO Irrigation and drainage paper* 56. Recuperado de https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf
- Burney, J., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R. & Pasternak, D. (2009): Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano–Sahel. En: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (5), 1848–1853. doi: 10.1073/pnas.0909678107. Recuperado de <http://www.pnas.org/content/107/5/1848.abstract>
- Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) (2008): Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers: Earthscan (Planning and Installing Series). Recuperado de https://books.google.de/books?id=fMo3jJZDkpUC&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- 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
- KPMG (2011): The Rising Sun. A point of View on the Solar Energy Sector in India. India. Recuperado de <https://www.kpmg.de/docs/The-Rising-Sun.pdf>
- NREL National Renewable Energy Laboratory (2012): Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics. Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>
- Raghavan, S. V., Bharadwaj, A., Thatte, A. A., Harisch S., Iychettira, K.K., Perumal, R. & Nayak, G. (2010): Harnessing solar energy: Options for India. Center for Study of Science, technology and Policy (CSTEP). High Grounds, Bangalore. Recuperado de <https://www.slideshare.net/abyshares24/harnessing-solar-energyoptionsforindiafull-report>
- Schmidt, R. (2012): Aplicaciones de Energía Solar Fotovoltaica; Diseño, Implementación, Experiencias.
- Woltering, L., Pasternak, D. & Ndjunga, J. (2011): The African Market Garden: The Development of an Integrated Horticultural Production System for Smallholder Producers in West Africa. En: *Irrigation and Drainage* 60 (5), 613-621. doi: 10.1002/ird.610.

Enlaces

- European Commission, Joint Research Centre (2012): Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology. Recuperado de <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>.
- Irrigation Association (2017): Irrigation Glossary. Recuperado de <http://www.irrigation.org/IRIGlossary>.
- Meteonorm: Meteonorm Software. Irradiation data for every place on Earth. Recuperado de <http://www.meteonorm.com/en/>.

NASA (2016): Surface meteorology and Solar Energy. With the collaboration of Atmospheric Science Data Centre. Recuperado de <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>.

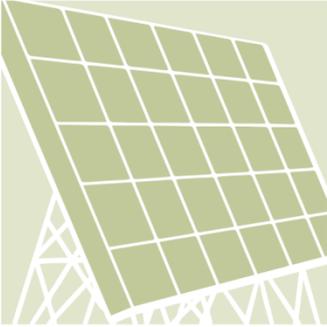
Algunos fabricantes de sistemas de montaje / seguimiento ofrecen herramientas de diseño específicas para un producto que suelen hallarse en las páginas web pertinentes de los mismos.

Herramientas de SPIS

No hay herramientas para este módulo.

POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 2: Promueve

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

Descargar

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 _T	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 ²	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
Vd	Daily crop water requiremente (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

PROMUEVE

1. Analizar oportunidades y riesgos



2. Analizar el acceso a financiación



3. Definir el grupo destinatario y las partes interesadas



4. Definir una estrategia de promoción



5. Planificar y llevar a cabo actividades de promoción



6. Asegurar el seguimiento

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

Debido a la falta de sensibilización del grupo destinatario, la promoción de sistemas de riego con energía solar (SPIS) modernos y eficientes requiere esfuerzos de promoción proactivos por parte de profesionales del desarrollo, proveedores del ámbito de la irrigación solar y proveedores de servicios de extensión agrícola. El presente módulo pretende guiar a través de los pasos más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de iniciar un proceso de difusión o ampliación de escala de los sistemas de riego solar.

Las actividades de promoción son la parte más visible de una campaña de promoción. Pero ninguna campaña de promoción puede concebirse sin un minucioso análisis previo de los objetivos, el grupo destinatario y las partes interesadas, así como de los potenciales y oportunidades, los riesgos y las restricciones conexos. Por otra parte, no hay campaña de promoción que pueda iniciarse sin prever un seguimiento sistemático que arranque con su lanzamiento.

PASOS DEL PROCESO

El módulo empieza arrojando luz sobre tres procesos importantes que deben llevarse a término para la promoción de cualquier tecnología. Para empezar, es importante entender los pros y los contras de los SPIS en la zona en cuestión. Esto no sustituye el análisis detallado de la viabilidad de la tecnología en el contexto de una explotación específica, que es el objetivo de los módulos siguientes de la caja de herramientas.

Una vez definidos claramente los objetivos y el grupo destinatario de la promoción, corresponde producir el material de

promoción. Luego habrá que planificar la realización de las actividades de promoción.

La puesta en marcha de proyectos o inversiones concretos que han sido motivados por la campaña de promoción requiere nuevamente acciones proactivas de los y las profesionales del desarrollo y los asesores y asesoras agrícolas. En los últimos pasos del proceso expuesto en el módulo **PROMUEVE**, se ofrece información sobre cómo llevar adelante esta tarea.

1. ANALIZAR OPORTUNIDADES Y RIESGOS

Los esfuerzos de promoción proporcionan información específica a los productores destinatarios o productoras destinatarias con miras a que puedan tomar decisiones orientadas a asegurar y/o aumentar su potencial de producción agrícola mediante la modernización y mejora de las capacidades de irrigación. Es, pues, importante detenerse a reflexionar sobre los posibles beneficios de optar por una tecnología particular, las perspectivas que ofrece su aplicación en un contexto rural específico y las oportunidades que surgen de ello.

El módulo **INFÓRMATE** familiariza a los asesores y asesoras agrícolas o a los y las profesionales del desarrollo (promotores o promotoras) con los aspectos principales de la tecnología. A continuación, los promotores o promotoras deberían informarse sobre los productos y soluciones de sistema particulares que se ofrecen en el mercado local.

La herramienta **PROMUEVE – Herramienta de evaluación rápida de SPIS** ayuda a entender el mercado de SPIS en un país y/o la región de un proyecto. La herramienta proporciona una plantilla o modelo de informe que guía al autor o autora a través de los aspectos relevantes de los SPIS que es necesario evaluar. Esto incluye:

- una evaluación de la agricultura de regadío, la energía solar y la financiación agrícola en el país o la región del proyecto en cuestión;
- tecnologías y mecanismos de financiación y promoción existentes; y
- análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA).

Importante: No todas las opciones tecnológicas y los servicios correspondientes están disponibles en todas partes; la gama de opciones

tecnológicas ofrecidas en mercados locales puede ser limitada.

Incluso dentro de un mismo país pueden existir diferencias regionales considerables.

Con una buena base de información sobre la disponibilidad y las características específicas de las opciones tecnológicas, los promotores o promotoras podrán analizar los potenciales de las diferentes soluciones o enfoques y reflexionar sobre las oportunidades que se ofrecen. Este paso del proceso proporciona orientación sobre QUÉ preguntar a QUIÉN.

Es esencial recabar información sobre los siguientes aspectos:

- **Disponibilidad:**
 - ¿Qué opciones tecnológicas y servicios de apoyo están disponibles o son accesibles en la zona de promoción?
- **Aptitud:**
 - ¿Hay un entorno capaz de apoyar una promoción en gran escala de SPIS?
 - ¿Ofrece la zona de captación agua superficial y subterránea suficiente para el desarrollo de la irrigación a corto y largo plazos? (v. **SALVAGUARDA EL AGUA**)
 - Otros requisitos previos importantes son la existencia de suelos y condiciones climáticas (p. ej., irradiancia solar) adecuados, el acceso a mercados de insumos y productos y la seguridad de las infraestructuras.
- **Aceptabilidad:**
 - ¿Cuál es el nivel de aceptación de la tecnología de SPIS de las diferentes partes interesadas?

- ¿Es la relación costo-beneficio de los SPIS, en una zona, más favorable que la de otras tecnologías alternativas?
- ¿Cuáles son las maneras aceptables de difundir y promover la información sobre SPIS en la zona destinataria?
- **Fomentabilidad:**
 - ¿Existen o están previstos programas de apoyo a los SPIS o sus componentes en la zona destinataria, y son estos accesibles a los productores o productoras? Un aspecto importante es la disponibilidad de subsidios para determinados proyectos de riego. Puede que existan subsidios para opciones de modernización basadas en energía fotovoltaica; pero puede que los haya también para opciones basadas en electricidad generada con petróleo o procedente de la red, lo que tendría un impacto significativo en la viabilidad financiera.
 - ¿Qué proveedores de servicios son accesibles a los productores o productoras?

En cualquier caso, también es importante proporcionar información imparcial sobre posibles restricciones y riesgos para los SPIS.

La herramienta **PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto** proporciona una guía sobre los posibles impactos de los SPIS en términos socioeconómicos y ambientales.

Al utilizar esta herramienta, los asesores de SPIS pueden involucrarse más en la evaluación del cambio socioeconómico y ambiental y en la planificación de la mitigación de los impactos adversos. Permite el uso más eficaz de la experiencia especialista y promueve una cooperación más estrecha entre especialistas y no especialistas en el desarrollo de proyectos

sociales, económicos y ambientalmente sostenibles.

La herramienta se puede utilizar durante el diseño de un sistema SPIS, así como después de que se haya instalado y utilizado el SPIS, asegurando un seguimiento continuo.

- Las **restricciones** están determinadas por factores técnicos (disponibilidad de soluciones y servicios técnicos), ambientales (disponibilidad de agua y recursos solares, aptitud para cultivos específicos) y económicos (acceso a financiación, rentabilidad de la inversión y los precios de mercado, precios del petróleo, subsidios). Todos los sistemas de irrigación, cualquiera que sea su tipo, deberían diseñarse teniendo en cuenta estas restricciones al objeto de garantizar un rango de operación óptimo.
- Los **riesgos** surgen principalmente de la desviación del rango operativo diseñado y de los principios de operación. Esta desviación puede dar lugar a impactos negativos en el medio ambiente (extracción excesiva de agua, riego excesivo) y en la relación costo-beneficio de la producción (la falta de agua provoca disminución de la producción, etc.).

Importante: No todas las tecnologías de riego son aptas para todos los cultivos y enfoques de producción. Aparte de las restricciones técnicas y agronómicas, un aspecto de vital importancia a tener en cuenta es la relación costo-beneficio. Además, es importante señalar que el cambio de una práctica agrícola es algo más que una simple cuestión agronómica, dado que tiene repercusiones sociales, de género, económicas y ambientales que deben evaluarse a nivel local.

El análisis de las restricciones y los riesgos abarca aspectos técnicos, ambientales y

económicos asociados con la aplicación de las opciones tecnológicas:

- riesgos ambientales que surgen de la posibilidad de una sobreexplotación de los recursos hídricos (v. **SALVAGUARDA EL AGUA**),
- riesgos técnicos derivados de operar el sistema fuera del rango diseñado, que podrían ocasionar un aumento de los costos de mantenimiento, reparación y reemplazo,
- riesgo de robo de la instalación y vandalismo en una zona particular, y
- riesgos financieros relacionados con una gestión deficiente del agua (escasez de agua o sobrerriego), fallos de los equipos, etc.

El promotor o promotora debería triangular y comparar información procedente de diferentes fuentes relevantes:

- Los fabricantes y los proveedores de servicios tecnológicos anuncian y comercializan intensamente sus productos destacando sus ventajas y potenciales. Esta información puede obtenerse fácilmente de los proveedores e integradores de sistemas y a través de las páginas web de los fabricantes.
- Posiblemente haya organizaciones de productores o productoras que ya han compilado o evaluado las experiencias de sus miembros con un sistema de riego y bombeo específico, y que pueden también conectar a los promotores o promotoras con otros productores o productoras que cuentan con experiencia en tecnologías avanzadas.
- Y puede que haya agentes del desarrollo nacionales e internacionales (incluidas ONG) que ya han llevado a cabo y evaluado proyectos piloto basados

en estas tecnologías, y que la información correspondiente esté disponible en grupos de trabajo sectoriales, etc.

Recomendación: Al tratar con proveedores de tecnología, organizaciones de productores y productoras y agentes del desarrollo, preguntar siempre por proyectos de referencia. Una visita a estos proyectos o instalaciones y un intercambio de experiencias con el productor usuario o productora usuaria son actividades que vale la pena realizar.

Con base en esta información, los promotores o promotoras estarán en condiciones de establecer un perfil de las diferentes tecnologías que se incluirán en la campaña de promoción. Tal perfil deberá contemplar aspectos específicos en relación con:

- las posibilidades de emplear la tecnología con una finalidad concreta;
- los beneficios principales para el productor o productora (impactos en la operación del riego, el trabajo agrícola, la producción de los cultivos, el acceso a mercados, el presupuesto disponible de la granja);
- los principales requisitos y condiciones previas (disponibilidad de agua a corto y largo plazos, recursos de tierras, obras, adaptación de la producción y comercialización de cultivos, adaptación de la operación del riego, necesidades de capacitación);
- las ofertas y los mecanismos de apoyo (prestación de servicios del sector privado, servicios de extensión y asesoramiento, sistemas de promoción y subsidios);
- los potenciales impactos negativos en la capa freática del agua y el

medio ambiente y aspectos socioeconómicos.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Asesores y asesoras agrícolas/profesionales del desarrollo;
- productores y productoras (organizaciones);
- mayoristas (que compran productos agrícolas);
- autoridades encargadas de la gestión de los recursos hídricos (gestión de derechos/permisos de agua);
- organizaciones con experiencia en tecnologías de riego y bombeo solar;
- proveedores de tecnología.

RESULTADO / PRODUCTO

- Análisis de la disponibilidad, la aptitud, la aceptabilidad y la fomentabilidad de las opciones tecnológicas;
- perfil de potenciales y oportunidades de cada opción tecnológica;
- visión general de las condiciones marco (esto es, derechos de agua, subsidios, etc.);
- utilizar la herramienta **PROMUEVE – Herramienta de evaluación rápida de SPIS** para un análisis estructurado.
- utilizar la herramienta **PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto** para un seguimiento previo y posterior a la instalación de un SPIS.

DATOS REQUERIDOS

- Triangulación de diferentes fuentes de información sobre aspectos técnicos, económicos y ambientales.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La disponibilidad de una opción tecnológica determinada puede ser limitada (también pueden existir diferencias subregionales).
- La triangulación (utilización de diferentes fuentes de información) se hace al objeto de obtener una visión general realista de los potenciales y las oportunidades.
- Evaluar los pros y los contras de SPIS en el país y/o la región del proyecto a fin de contar con una base sólida de conocimientos para la promoción de SPIS.



Prácticas de cultivo innovadoras en la agricultura de regadío

(Fuente: Andreas Hahn)

2. ANALIZAR EL ACCESO A FINANCIACIÓN

En general, la introducción de tecnologías de riego modernas requiere inversiones comparativamente elevadas que con frecuencia rebasan la capacidad financiera de los hogares agrícolas. Esto también es aplicable a los SPIS, lo que implica que los enfoques de promoción de esta tecnología de riego deben tener en cuenta el acceso al capital requerido.

Para financiar inversiones en irrigación existen las siguientes fuentes o una combinación de ellas:

- fondos propios del hogar agrícola;
- préstamos y arrendamientos comerciales (condiciones de mercado);
- créditos subvencionados (blandos) al prestatario o prestataria final;
- sistemas de ahorro y préstamo grupal;
- subsidios y subvenciones para el desarrollo;
- patrocinio.

La falta de financiación externa es con frecuencia un factor limitante para las explotaciones agrícolas familiares de mediano tamaño, debido a las limitaciones que estas enfrentan en cuanto a capital propio y calificación crediticia con las instituciones de financiación comercial. También, las instituciones financieras suelen mostrarse muy reacias a abrir sus carteras de créditos a las nuevas tecnologías del sector agrícola, debido a que los plazos de amortización son por lo general largos y existe el riesgo de malas cosechas. Además, la falta de garantías de crédito convencionales constituye un obstáculo para los bancos. Este paso se trata con mayor detalle en el módulo **INVIERTE**, que ofrece información y herramientas a los proveedores de servicios financieros que ya financian o proyectan financiar SPIS.

El conocimiento de los apoyos financieros para SPIS y las conexiones con las instituciones que los prestan serán de importancia decisiva para los promotores o promotoras, dado que los potenciales usuarios y usuarias de SPIS se mostrarán muy interesados en el tema. El aspecto del acceso a financiación tiene que ser un elemento obligatorio del análisis y la compilación de datos que llevan a cabo los promotores o promotoras en la fase inicial. A nivel local, lo normal es que los productores o productoras no tengan acceso a información sobre las opciones de financiación para innovaciones.

El Gobierno tiene que desempeñar un papel importante en la mejora de las condiciones marco, como la minimización de las distorsiones del mercado, el fomento de la participación del sector privado y el apoyo a los bienes públicos y las infraestructuras físicas y financieras. Una herramienta importante de los gobiernos es la concesión de **subsidios** para poner las tecnologías de riego modernas al alcance de las explotaciones agrícolas familiares de mediano tamaño. Existen habitualmente subsidios para componentes individuales de un sistema de riego, tales como el sistema de bombeo (subsidios para el bombeo fotovoltaico), el almacenamiento de agua (subsidios para tanques de agua) y el sistema de riego (subsidios para sistemas de riego por aspersión o microirrigación). Estos subsidios son en su mayoría condicionales (ahorro de agua y energía, intensificación de cultivos) y temporales, con un porcentaje de cobertura que disminuye con el tiempo.

Los promotores o promotoras deben proporcionar tal información como parte de su material de promoción, y posteriormente como base para la iniciación de proyectos. Un factor importante es informar no sólo sobre la existencia de fuentes de financiación, sino también sobre cómo acceder a ellas.

Con miras a potenciales actividades de seguimiento relacionadas con el desarrollo de la respuesta del sector financiero a la financiación de sistemas de irrigación modernos, la GPFI/IFC recomiendan seguir las siguientes pautas:

- El Gobierno debe desarrollar sistemas de apoyo eficaces.
- Se debe fortalecer la infraestructura financiera (oficinas de crédito, registros de garantías mejorados, formas alternativas de garantía).
- Se deben desarrollar fuentes de datos coherentes y confiables para prestatarios y prestatarias finales y operadores financieros (información sobre opciones y condiciones de financiación, producción agrícola, cadenas de suministro y fijación de precios del mercado).
- Se debe apoyar a los productores o productoras y los proveedores de servicios financieros con miras a que aumenten sus conocimientos y capacidades en materia de financiación de sistemas de riego modernos y puedan aportar soluciones innovadoras. Entre estas posibles innovaciones se inscriben esquemas de garantías parciales y mecanismos de distribución de riesgos que se han revelado como instrumentos eficaces para fomentar los préstamos destinados a modernizar la irrigación.

RESULTADO / PRODUCTO

- Hoja informativa sobre opciones de financiación (incluidos condiciones, instituciones y datos de contacto);

- recomendaciones sobre las opciones de financiación para una variedad de grupos destinatarios.

DATOS REQUERIDOS

- Costos de inversión típicos de las opciones tecnológicas;
- información sobre las opciones de financiación en la región;
- información sobre sistemas de subsidios vigentes en la región; información sobre donantes y programas de subvenciones.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Asesores y asesoras agrícolas/profesionales del desarrollo;
- instituciones financieras;
- servicios gubernamentales;
- donantes y proyectos de desarrollo financiados por donantes.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Las tecnologías de irrigación modernas requieren financiación externa (parcial).
- Muchas veces están disponibles sistemas de subsidios para apoyar la introducción de tecnologías de riego modernas.
- Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y/o la difusión periódica de información pueden utilizarse para fomentar el acceso a financiación.

3. DEFINIR EL GRUPO DESTINATARIO Y LAS PARTES INTERESADAS

El análisis llevado a cabo en los pasos precedentes ha dibujado un perfil del potencial, las oportunidades, las restricciones y los riesgos relacionados con la promoción de SPIS. Los promotores o promotoras deben contar también con buenos conocimientos de las diferentes formas de apoyo financiero para la financiación de SPIS. Puede que algunas unidades familiares agrícolas tengan acceso a servicios de financiación comercial, y que otras requieran un subsidio del 100 % o una subvención para introducir la tecnología en sus explotaciones.

Sobre la base del análisis, los promotores o promotoras tendrán que definir un grupo destinatario específico acorde con las opciones tecnológicas que promueven. El hecho de apuntar a un mercado específico no significa excluir a las personas que no se ajustan a ciertos criterios. Antes bien, el mercadeo dirigido permite concentrar los esfuerzos de marketing y los mensajes de marca en un mercado específico que muestra mayor interés en comprar lo que ofrecemos que otros mercados. Esta es una manera mucho más económica, eficiente y eficaz de llegar a potenciales clientes y promover negocios. Nadie puede permitirse una campaña de promoción dirigida a todo el mundo.

Tratándose de tecnologías de SPIS, estas interesan normalmente a las explotaciones agrícolas familiares de mediano tamaño que cuentan con buen acceso al mercado y potencial para adaptar e intensificar su producción. Las grandes empresas agrícolas suelen obtener la información requerida directamente de proveedores de servicios del sector privado, y toman sus decisiones de inversión con base en su propia planificación empresarial (y sus propios recursos de financiación).

Los pequeños agricultores y agricultoras con escaso acceso a los mercados y los que practican agricultura de subsistencia

son con frecuencia incapaces de lidiar con los requisitos de operación y afrontar los costos conexos de grandes inversiones, como los que exigen las opciones de SPIS, aun cuando puedan beneficiarse de subsidios y subvenciones. Organizaciones asociativas con instalaciones de bombeo compartidas son una alternativa a los sistemas individuales en el caso de los pequeños agricultores y agricultoras y productores o productoras de subsistencia. Esta opción también puede servir para promover a las comunidades agrícolas desfavorecidas y empobrecidas que solo pueden tener acceso a tierras comunales. En muchos casos, estas mujeres y estos jóvenes necesitan una oportunidad para acceder al derecho de propiedad de la tierra, que a menudo es un requisito previo para poder acceder a crédito y obtener capital.

El análisis precedente también permite identificar a las partes interesadas importantes para la promoción:

- proveedores de tecnología y proveedores de servicios: para comprobar el buen funcionamiento de configuraciones de SPIS;
- instituciones financieras: para dar acceso a fondos para la financiación de SPIS;
- servicios de extensión agrícola y proveedores de servicios: para promover la tecnología y optimizar la productividad y la rentabilidad;
- instituciones gubernamentales que gestionan los sistemas de subsidios: para sensibilizar sobre las opciones de apoyo y mejorar el acceso a subsidios y otros instrumentos de fomento;
- organizaciones y grupos de productores y productoras: para crear economías de escala para comprar, vender y acceder a información y servicios;

- donantes y ONG: para apoyar el acceso a servicios, mejorar la capacidad organizacional y experimentar y demostrar configuraciones de SPIS.

Las partes interesadas identificadas y sus funciones (reales y potenciales) deben registrarse en una lista como parte de la tarea de compilar información. Algunas de estas partes interesadas podrían asumir también el papel de multiplicadores de la información en la campaña de promoción.

RESULTADO / PRODUCTO

- Definición de la categoría (tamaño) de las granjas agrícolas destinatarias y otros criterios adicionales (acceso al mercado, potencial de intensificación de la producción);
- lista de partes interesadas con sus funciones y responsabilidades.

DATOS REQUERIDOS

- Perfiles de las granjas agrícolas familiares/empresas de la zona de promoción;

- funciones y funcionamiento de las partes interesadas.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Asesores y asesoras agrícolas/profesionales del desarrollo.

ASUNTOS IMPORTANTES

- No todas las empresas agrícolas pueden absorber una inversión en tecnologías de irrigación modernas debido a su limitado acceso al mercado y su escaso potencial para adaptar e intensificar su producción.
- Organizaciones asociativas con instalaciones de bombeo compartidas pueden ser un enfoque factible para productores o productoras de subsistencia y comunidades desfavorecidas, así como para mujeres y jóvenes con acceso a recursos.



Reunión de un grupo de agricultores

(Fuente: Lennart Woltering)

4. DEFINIR UNA ESTRATEGIA DE PROMOCIÓN

Decidir una estrategia de promoción es una de las principales funciones del promotor o promotora. Esta función implica tomar decisiones clave acerca de quiénes son los clientes y clientas, cómo contactarlos y cuál debería ser el mensaje. Los pasos previos permitieron establecer el grupo destinatario y cuáles son sus prioridades y necesidades. Ahora es importante decidir cómo llegar a ellos: a través de la prensa, la publicidad (u otros medios de comunicación) o el contacto personal. A continuación, se debe tener claro cuáles son los argumentos de venta (únicos) (*unique selling points* / USP) orientados a crear una demanda para los servicios del promotor o promotora.

Casi todos los países del mundo disponen de experiencia en lo que respecta a campañas de promoción y sensibilización dirigidas al sector agrícola. Hay enfoques exitosos que pueden venir de los servicios de extensión y socios para el desarrollo, tales como donantes y ONG. Tales enfoques están siempre centrados en el grupo destinatario y son sensibles al contexto cultural. Se debe prestar especial atención al acceso a la información de las comunidades desfavorecidas, y en particular, de las mujeres y los jóvenes. Las reuniones y seminarios de difusión están dominados tradicionalmente por cabezas de familia masculinos y productores líderes.

Las actividades de promoción deben incluir instrumentos comunicativos e interactivos, dado que la simple distribución de hojas y folletos informativos a menudo no es suficiente para llegar a todos los hogares destinatarios.

Posibles actividades son, por ejemplo:

- días de campo y ferias de tecnología con los productores y productoras (pueden organizarse también en cooperación con los

proveedores de servicios tecnológicos);

- programas de información itinerantes con presentación de tecnologías a nivel de comunidades;
- seminarios de extensión con productores y productoras líderes que sirven de multiplicadores.

Recomendación: Siempre que sea posible, los proveedores de tecnología y las ONG deberían estar incorporados en la estrategia de promoción, dado que pueden proporcionar información valiosa. Se debe llegar a un acuerdo en lo que respecta a la imparcialidad de la información ofrecida. También es aconsejable invitar a los eventos de promoción a representantes de los bancos/instituciones financieras locales al objeto de sensibilizarlos sobre las nuevas tecnologías.

Existe, además, una serie de medios de difusión pasiva, los cuales también requieren una preparación minuciosa del material necesario:

- boletines de radios rurales;
- boletines breves de la televisión local;
- preparación de carteles;
- vídeos de internet (difundidos a través de YouTube, etc.).

Dependiendo del enfoque de promoción y los instrumentos elegidos, la compilación del material promocional puede ser una tarea considerable, la cual debería incluir el diseño y la composición de documentos preparados específicamente para el grupo destinatario. Es necesario contar con suficientes recursos presupuestarios para producir un material de promoción de buena calidad. Además, el promotor o promotora debe tener muy presentes las capacidades (recursos humanos y

financieros) necesarias para crear y llevar a cabo una buena campaña de promoción.

Importante: Al encarar la promoción de una tecnología de riego, el objetivo primordial de los esfuerzos de promoción debe ser siempre proporcionar al productor o productora la información que necesita para tomar una decisión que le permita asegurar y/o aumentar su potencial de producción. Desde la perspectiva del desarrollo, “promoción” no es sinónimo de marketing de un producto específico.

- Se debe prestar atención al acceso a la información de las comunidades desfavorecidas, las mujeres y los jóvenes.
- Los proveedores de tecnología y las ONG deben estar incorporados en la estrategia de promoción, dado que pueden aportar información valiosa.

RESULTADO / PRODUCTO

- Determinación del enfoque y los instrumentos de promoción;
- acuerdos con partes interesadas relevantes sobre actividades de cooperación;
- diseño y composición del material de promoción.

DATOS REQUERIDOS

- Experiencias con diferentes enfoques e instrumentos de promoción (en el sector agrícola);
- recursos humanos y financieros propios para emprender una campaña de promoción.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Asesores y asesoras agrícolas/profesionales del desarrollo;
- proveedores de tecnología;
- organizaciones de productores y productoras;
- donantes y ONG;
- proveedores de servicios financieros.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Las actividades de promoción deben incluir instrumentos comunicativos e interactivos.

5. PLANIFICAR Y LLEVAR A CABO ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN

La implementación de las actividades de promoción debe iniciarse solo una vez que se haya desarrollado y esté disponible el material de promoción. Lo ideal es que la campaña de promoción se base en un enfoque interactivo, lo que significa que la planificación de la implementación de las actividades debe hacerse con mucha antelación y aunando esfuerzos con los socios que prestan cooperación. Muchas veces durante el año, la mayoría de los productores y productoras tiene muy poco tiempo para asistir a seminarios y reuniones. Por ello, para conseguir una buena participación, la planificación debería regirse por el calendario agrícola y los picos de trabajo regionales. Especial atención debe prestarse a las limitaciones de tiempo de las mujeres y los jóvenes.

La planificación debe incluir también la identificación de presentadores y presentadoras, así como instructores e instructoras adecuados, que tengan experiencia con el grupo destinatario particular. Un enfoque recomendado es la inclusión de productores y productoras líderes para ejercer de multiplicadores y copresentadores o copresentadoras en eventos de difusión. Para acceder a las mujeres y los jóvenes, el equipo de promoción debe guardar cierto equilibrio de género y edades. La incorporación de personal de ONG locales, por ejemplo, puede favorecer el éxito de las actividades. Los promotores o promotoras y los presentadores o presentadoras deben estar no solo familiarizados con el material de promoción y los objetivos y mensajes clave de la campaña, sino también capacitados para llevar a cabo reuniones de extensión, etc. Los eventos locales deben anunciarse con antelación para propiciar una mayor participación.

Los anuncios pueden difundirse a través de:

- tablero de anuncios de la oficina de extensión agrícola;

- distribución de volantes;
- tiendas de proveedores de tecnología;
- periódico local;
- servicios de radio rurales;
- mensajes de texto SMS.

En la implementación de los eventos de promoción siempre se debe situar a los productores o productoras en el centro de la estrategia de extensión agraria. El objetivo de cada evento no es únicamente proporcionar información adelantándose a las necesidades de los productores o productoras, sino que incluye también demostraciones prácticas, preguntas y discusiones orientadas a captar las expectativas y las necesidades de los productores y productoras.

La retroalimentación proporcionada por los y las participantes de los eventos de promoción y extensión debe obtenerse de una manera sistemática con miras a perfeccionar la didáctica. Una buena documentación de las opiniones, así como de los intereses y los reclamos de más información permitirá establecer más tarde un seguimiento eficaz y centrado en temas concretos.

RESULTADO / PRODUCTO

- Programa/plan de eventos de promoción y extensión locales basado en el calendario agrícola;
- anuncios por medio de volantes, carteles y a través de los medios de comunicación locales;
- registro de la retroalimentación y solicitudes de más información y seguimiento formuladas por los productores y productoras.

DATOS REQUERIDOS

- Información sobre los picos de trabajo locales en el sector agrícola;
- información sobre lugares/zonas adecuados para la realización de eventos de promoción;
- información sobre otros eventos de extensión;
- información de contacto de partes interesadas locales relevantes, tales como bancos/instituciones financieras, organizaciones de productores y productoras, ONG, asociaciones del sector privado, etc. (para invitación).

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Asesores y asesoras agrícolas/profesionales del desarrollo;
- productores y productoras;

- proveedores de tecnología;
- organizaciones de productores y productoras;
- proveedores de servicios financieros;
- donantes y ONG.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Se debe alentar a productores y productoras a interactuar con los promotores y promotoras/presentadores y presentadoras haciendo preguntas, proporcionando retroalimentación y expresando otras necesidades y solicitudes de más información.
- La retroalimentación y las solicitudes de más información de los productores y productoras deben quedar documentadas.



Visita de campo al sitio de un SPIS en la India

(Fuente: Lennart Woltering)

6. ASEGURAR EL SEGUIMIENTO

Las actividades de promoción pueden dar lugar a solicitudes de más información y primeras expresiones de interés en la nueva tecnología. En muchas zonas, la estructura de servicios de los proveedores de tecnología y de sus prestadores de servicios de instalación asociados no está muy bien desarrollada. Muchas veces, el proveedor mantiene solo unas pocas sucursales (si no una única) en el país. A muchos productores y productoras interesados en opciones de tecnología modernas, como los SPIS, no les resulta posible viajar a la capital para obtener más información. De ahí que sea necesario documentar debidamente las solicitudes de contacto y las necesidades de información expresadas en los eventos de promoción y extensión, y proporcionar a los productores y productoras los datos de contacto para nuevas consultas.

Los promotores y promotoras deben procesar de una manera sistemática las peticiones documentadas de los productores y productoras, y darles seguimiento sin demora tras el primer contacto establecido en el evento de promoción. Con el seguimiento posterior a la actividad de promoción, se da comienzo a la fase inicial de un posible proyecto futuro. Ahora, el promotor o promotora tiene que elegir cómo continuar el seguimiento. Posibles escenarios son:

- iniciar contacto directo entre el productor o productora y un proveedor de tecnología/desarrollador o desarrolladora de proyectos;
- encomendar las actividades de seguimiento a socios de desarrollo que operan a nivel local (ONG, donantes).

Los próximos pasos de este proceso de inicio estarán dedicados a realizar una primera evaluación de la aptitud de las diferentes opciones de tecnología en el contexto específico de la explotación. Ello

requiere una visita de reconocimiento sobre el terreno y un proceso de reflexión más profunda junto con el productor o productora. Los siguientes módulos de la presente caja de herramientas, en particular los que describen los procesos de diseño, montaje y mantenimiento, asisten a asesores y asesoras y a profesionales del desarrollo en la tarea de realizar dicha evaluación preliminar.

RESULTADO / PRODUCTO

- Contacto entre el productor o productora y el proveedor de servicios/socio desarrollo para las actividades de seguimiento;
- inicio de actividades de desarrollo del proyecto.

DATOS REQUERIDOS

- Datos de contacto del productor o productora y el proveedor de servicios/socio desarrollo para el desarrollo del proyecto.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Asesores y asesoras agrícolas/profesionales del desarrollo;
- productores y productoras;
- proveedores de tecnología;
- donantes y ONG.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Los proveedores de tecnología muchas veces no mantienen una red amplia de sucursales, lo que obliga a desarrollar una gestión proactiva de contactos.
- Las actividades de seguimiento tras una solicitud de más información deben realizarse sin demora para mantener la

confianza del productor o
productora.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Lecturas complementarias

Hahn, A., Sass, J. & Fröhlich, C. (2015): Manual and tools for promoting SPIS. Multicountry - Stocktaking and Analysis Report. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Recuperado de:

[https://energypedia.info/wiki/Solar Powered Irrigation Systems -
Technology, Economy, Impacts](https://energypedia.info/wiki/Solar_Powered_Irrigation_Systems_-_Technology,_Economy,_Impacts)

International Finance Corporation (2011): Scaling Up Access to Finance for Agricultural SMEs Policy Review and Recommendations. Recuperado de:

[https://www.gpfi.org/sites/default/files/documents/G20_Agrifinance_Report%20\(FINAL
%20ONLINE\).pdf](https://www.gpfi.org/sites/default/files/documents/G20_Agrifinance_Report%20(FINAL%20ONLINE).pdf)

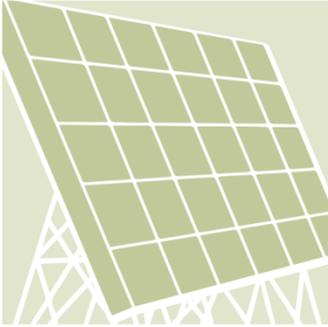
Herramientas de SPIS

PROMUEVE – Herramienta de evaluación rápida de SPIS

PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto

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

Descargar

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

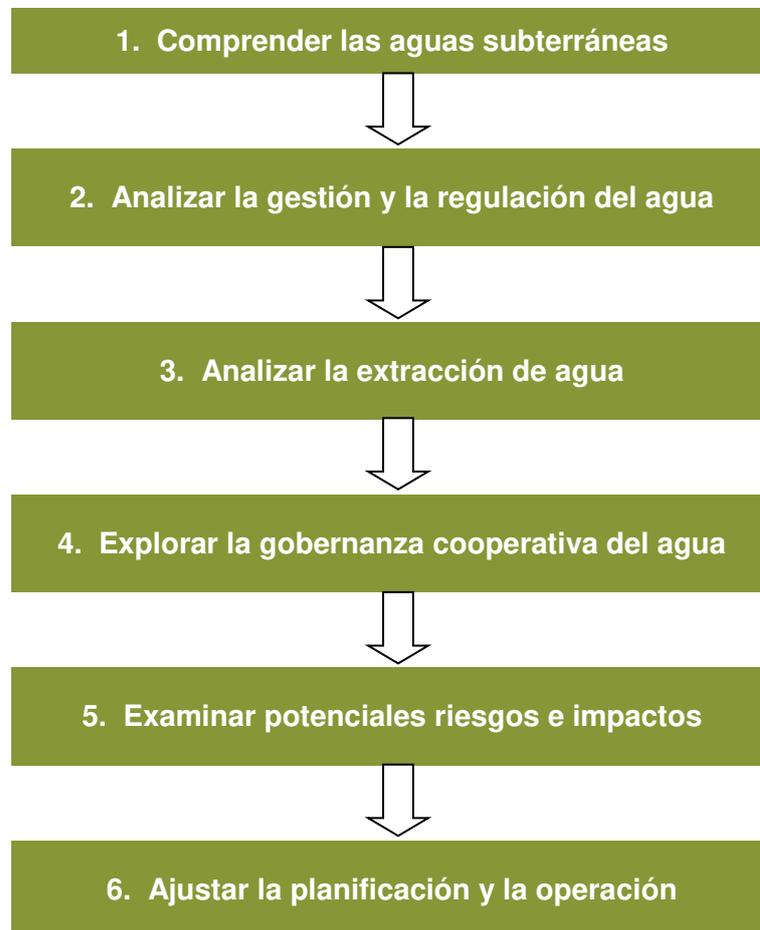
Las denominaciones empleadas y la presentación del material en este producto informativo no implican juicio alguno de parte de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), o los socios fundadores 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 _r	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 ²	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
Vd	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 CO₂, no produce gases de efecto invernadero, y por tanto no contribuye al cambio climático;
- Se pueden vender certificados de CO₂ 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 crítica¹. A nivel global, la extracción de agua subterránea no renovable contribuye a satisfacer cerca del 20 % de la demanda bruta de agua de riego². 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;

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

² 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

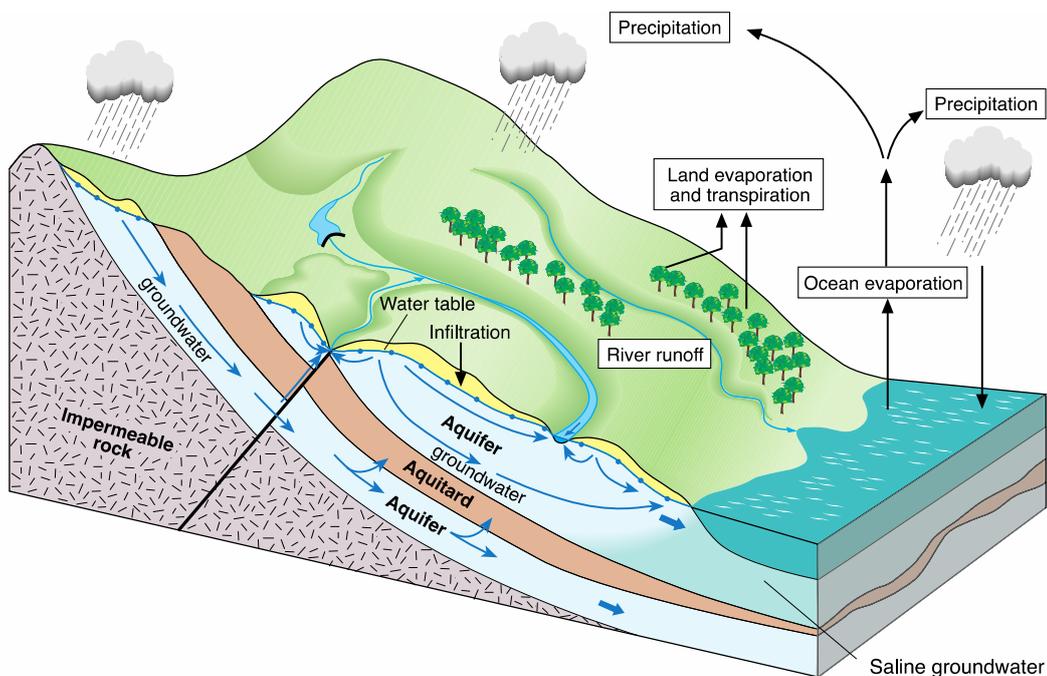
(Fuente: Federal Institute for Geosciences and Natural Resources [BGR], Alemania)

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 agricultoras³.

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.

³ 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.

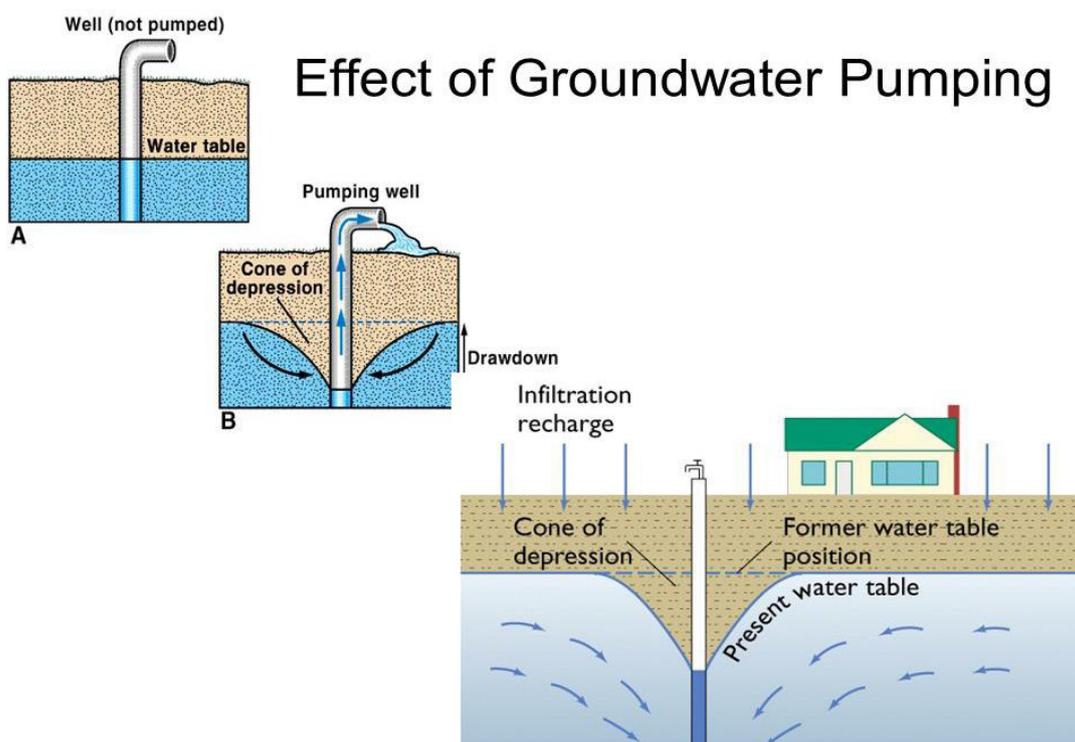


Figura: Efecto del bombeo de agua subterránea
(Fuente: Thomas V. Cech)

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

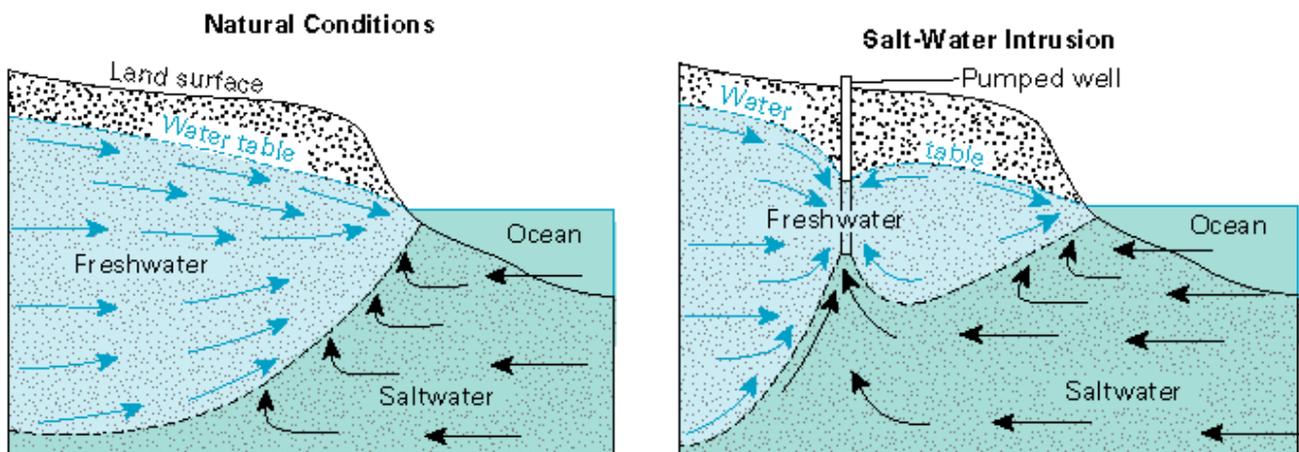
Los sistemas de agua subterránea y agua superficial están a menudo en estrecha interacción. Las aguas subterráneas aportan el flujo de base de los ríos, incluso en periodos de sequía, y abastecen los ecosistemas de agua dulce. Cuando las aguas subterráneas se bombean en exceso, las descargas en forma 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 m³/hora o m³/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
Disponibilidad de agua y licencias	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 Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos
	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
Gestión y gobernanza del agua	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
Planificación de la fuente de agua	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 Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos
	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 Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos

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

Áreas de preguntas clave	Cuestiones críticas	Posibles consecuencias
	conceden subsidios/ financiación	Riesgo de sobreutilización de las fuentes de agua con impactos ambientales y económicos negativos 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

- Deseccación 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
- 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
- Tuinhof, A., Van Steenberg, 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 Rohstoffen (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
- 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.

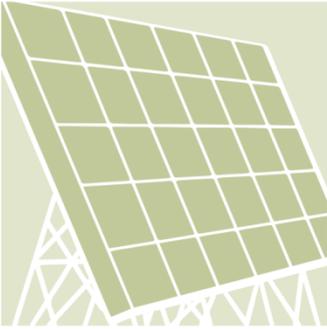
Emisor	Pequeño dispositivo dispensador de microirrigación, diseñado para disipar la presión y descargar un flujo reducido y uniforme de agua en forma de gotas o chorros finos, con una descarga constante que no varía de forma significativa debido a pequeñas diferencias en la altura de presión. Conocido 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° en el ecuador a 90° (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 potencia 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 ²].
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 INVIERTE).
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]

POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 4: Mercado

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

Descargar

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.

Implemented by

© GIZ y FAO, 2018

 Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

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 _T	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 ²	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
Vd	Daily crop water requirement (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

MERCADO

1. Identificación del potencial de mercado



2. Evaluación de los parámetros geofísicos



3. Evaluación del entorno empresarial



4. Decisión sobre el potencial de mercado

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

El módulo **MERCADO** tiene como objetivo proporcionar un alto nivel teórico sobre cómo llevar a cabo una posible evaluación de mercado de sistemas de riego solar en un país o una región determinada. Proporciona parámetros para su consideración que pueden ser empleados por diferentes depositarios (incluyendo a empresas privadas de SPIS, actores políticos, instituciones financieras y profesionales del desarrollo) para la evaluación del potencial de mercado de SPIS.

El módulo reconoce que, con el fin de llevar a cabo una evaluación del potencial de mercado, el usuario deberá identificar un área objetivo para dicha evaluación. El **Capítulo 1: Identificación del potencial de mercado** proporciona los factores a tener en cuenta a la hora de identificar el mercado y las herramientas que pueden ser empleadas para dicho fin.

Además, el módulo identifica dos categorías generales de parámetros que son la clave para llevar a cabo una evaluación del potencial del mercado de SPIS de alto nivel en el país o en la región objetivo: 1) los parámetros geofísicos y 2) el entorno empresarial. El **capítulo 2 – “Evaluación de los parámetros geofísicos”** y el **capítulo 3 – “Evaluación del entorno empresarial”** explican los parámetros específicos en cada categoría. Estos capítulos proporcionan una serie de definiciones de los parámetros en cuestión y subrayan por qué son clave en la evaluación del mercado.

Los parámetros identificados bajo aspectos geofísicos incluyen: cobertura del terreno, la explotación del suelo, irradiación solar, disponibilidad de agua, topografía, cultivos y ganado y la temperatura ambiente.

Los parámetros que afectan el entorno empresarial incluyen: intervenciones gubernamentales y no gubernamentales, financiación, costos y disponibilidad de fuentes alternativas de energía, capacidad

técnica para el mantenimiento de SPIS, nivel de concienciación sobre las tecnologías solares y de riego, la importancia de la agricultura para la economía, los derechos de propiedad y uso del suelo y el transporte y la infraestructura de comunicación.

El módulo está complementado por la herramienta **MERCADO – Herramienta de evaluación de mercado**, la cual considera los parámetros geofísicos básicos y proporciona una guía, así como una valoración para evaluar los parámetros que permiten un entorno empresarial para SPIS.

1. IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE MERCADO

La identificación del mercado de interés es un paso previo a la evaluación del potencial de mercado para SPIS. La clave para este proceso de identificación, la cual afecta la evaluación del mercado, es **QUIÉN** está interesado o interesada en la promoción y adopción de SPIS, y **POR QUÉ** existe dicho interés. Por ejemplo, una empresa privada de SPIS puede estar buscando una forma de entrar en nuevos mercados, empresas de cooperación y desarrollo pueden buscar nuevas formas de alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible en una región determinada, y actores políticos y agencias gubernamentales pueden estar interesadas en diversificar la economía de su país. Los parámetros presentados en este módulo y sus valoraciones asociadas pueden por lo tanto ser consideradas tanto como parámetros para la evaluación del mercado como para un análisis de carencias del mismo.

La identificación de los mercados objetivo para SPIS requiere la evaluación de varios parámetros. Estos pueden incluir parámetros geofísicos y del entorno empresarial. Para las partes interesadas sin un mercado objetivo definido o para aquellas que solo quieran adquirir una perspectiva general de alto nivel de posibles áreas donde los sistemas podrían ser implementados o utilizados, esto podría suponer una tarea sobrecogedora y que requiera mucho tiempo.

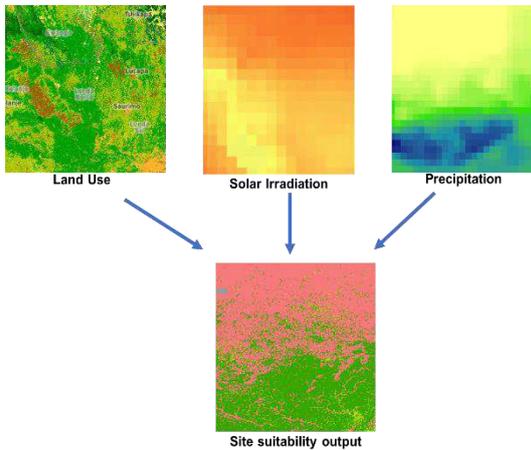
Mientras que las directrices presentadas en los capítulos 2 y 3 ayudan a determinar si un área previamente identificada tiene el potencial para SPIS, más que la identificación del mercado objetivo, este capítulo facilita el proceso de identificación proporcionando consideraciones clave en la identificación del mercado.

Tres parámetros geofísicos son considerados clave para determinar la viabilidad de SPIS en un área: la irradiación solar, las precipitaciones y el uso del suelo/cobertura del terreno. Estos

parámetros son explicados en adelante y tratados en profundidad en la sección de parámetros geofísicos del módulo.

- **Irradiación solar** hace referencia a la energía incidente por unidad de área sobre la superficie de la tierra medida en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m²). Mientras los avances en las tecnologías FV solares han permitido trabajar con niveles bajos de irradiación, es generalmente aceptado que con menores niveles de radiación, menor será la viabilidad de SPIS debido a los altos costos de inversión necesarios.
- **Precipitaciones** son un factor fundamental basado en la premisa de que áreas con lluvias por encima de un nivel determinado no requieren riego. Por ejemplo, la caña de azúcar tiene por temporadas las necesidades de agua más altas entre 1500 y 25000 mm, lo cual se traduce en una necesidad media de 200 mm mensuales según la FAO. Por lo tanto, áreas con lluvias que superen los 200 mm mensuales tendrán una viabilidad limitada para SPIS.
- **Cobertura del terreno/Usos del suelo** permite la eliminación de áreas menos apropiadas, incluyendo entre otras bosques, núcleos urbanos, y áreas cubiertas de nieve.

La idoneidad de SPIS puede ser presentada en mapas, los cuales proporcionan una perspectiva general de los países o regiones que tienen grandes espacios aptos para sistemas de riego solar. Estos pueden servir de guía para las partes interesadas para llevar a cabo una evaluación de los parámetros geofísicos y empresariales dentro de los países identificados.



Parámetros geofísicos fundamentales para el mapeo de la aptitud
 (Fuente: EED Advisory, Kenya, 2018)

RESULTADO / PRODUCTO

- Mercado objetivo para SPIS

DATOS REQUERIDOS

- Datos sobre las precipitaciones;
- datos sobre la cobertura del terreno y del uso del suelo;

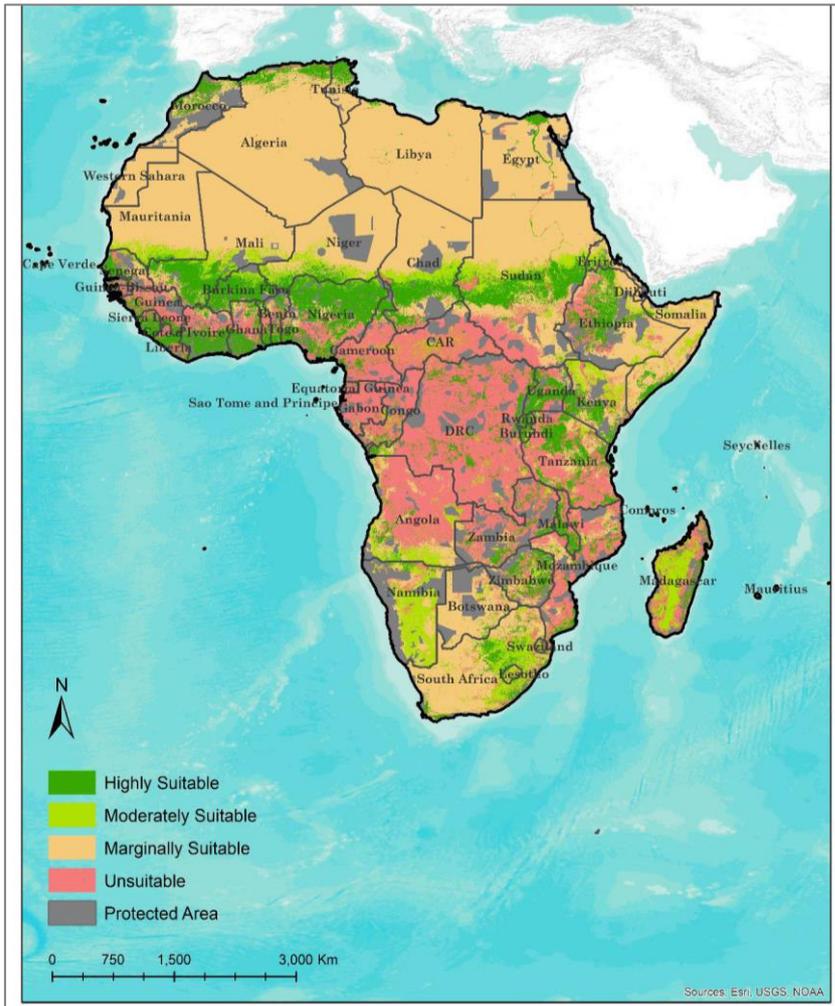
- datos sobre la irradiación solar.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Empresas privadas de SPIS;
- actores políticos;
- instituciones financieras
- profesionales de cooperación y desarrollo;
- gobiernos nacionales y locales.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Las directrices proporcionadas en los siguientes capítulos ayudan a determinar si un lugar previamente identificado tiene el potencial para SPIS, más que a identificar un mercado objetivo.
- La herramienta para el mapeo de la idoneidad proporciona un análisis de alto nivel mediante superposición de los datos de irradiación solar, precipitaciones y el uso de los suelos/cobertura del terreno.



Prueba de mapa de idoneidad para SPIS (Esri USGS, NOAA data)
 (Fuente: EED Advisory, Kenya, 2018)

2. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOFÍSICOS

Varios parámetros geofísicos pueden ser utilizados para evaluar los mercados de SPIS. Este módulo destaca tres parámetros cruciales para la viabilidad de las aplicaciones de SPIS, tal y como fueron introducidos en el capítulo 1: cobertura del terreno, uso del suelo, radiación solar y precipitación (bajo disponibilidad de agua). Si el estado de estos tres parámetros es desfavorable en el área de valoración, la probabilidad de que SPIS sea practicable es baja. Otros cuatro parámetros adicionales que son clave para la evaluación de mercado de SPIS han sido identificados – estos no afectan la viabilidad de SPIS, sino el éxito de la adopción de SPIS, basado en casos concretos. Los siete parámetros serán expuestos a continuación.

COBERTURA DEL TERRENO / USO DEL SUELO

La cobertura del terreno hace referencia a la cobertura tanto física como biológica de la superficie terrestre, incluyendo agua, superficies desnudas, bosques, y estructuras artificiales entre otras. El uso del suelo, por otro lado, hace referencia a cómo las personas utilizan el terreno, ya sea para su recreo, agricultura o como hábitat de animales salvajes, entre otros.

La cobertura del terreno/el uso del suelo es uno de los parámetros a considerar durante la identificación de posibles mercados para SPIS, ya que ayuda a determinar la viabilidad de la ubicación para agricultura, a partir de la cual otros parámetros pueden ser considerados. La cobertura del terreno se mide mediante observaciones directas de campo o mediante técnicas de teledetección, implicando el análisis posterior de las imágenes satelitales y aéreas. Basándose en el análisis de la cobertura del terreno, los datos sobre el uso del suelo pueden ser inferidos mediante datos auxiliares. La información ayuda a las instancias decisorias y a partes interesadas de

sectores transversales a entender la dinámica de un entorno cambiante y a asegurar un desarrollo sostenible.

Los datos de cobertura del terreno consiste normalmente de ocho clases, incluyendo humedales, cuerpos de agua, áreas urbanas, arbustos, pastizales, bosques, terrenos sin vegetación y áreas agrícolas. Estas pueden ser además clasificadas en varias clases, dependiendo de la fuente de datos. El marco de idoneidad de tierras de la FAO, por ejemplo, divide los terrenos en cuatro tipos desde terrenos altamente aptos (S1) a terrenos momentáneamente no aptos (S4). Entre las ocho clases mencionadas, “tierras agrícolas” puede ser clasificada como altamente apto (S1), mientras que la clase “pastizal”, la cual requiere una limpieza del terreno y un nivelamiento previos, sería más bien moderadamente apta (S2). La clase “matorral” y “tierras sin vegetación” requieren una inversión inicial mayor para la preparación del terreno, por lo que se clasificarían como marginalmente aptas (S3), mientras que las clases “bosque”, “agua”, “urbana” y “humedal” pueden ser calificadas como no aptas (S4).

En la evaluación del potencial de mercado para SPIS en un país o región determinada, los entes decisores han de evaluar la viabilidad de riego para su ubicación objetivo desde una perspectiva que tenga en cuenta la cobertura del terreno. Por ejemplo, las áreas mayoritariamente clasificadas como terrenos S1 tendrán un mayor potencial para SPIS que las áreas altamente urbanizadas o clasificadas como humedal.

Ha de señalarse, que un análisis de los datos de la cobertura del terreno/uso del suelo mediante el uso de técnicas de teledetección deberá ser seguido de una verificación de campo para corroborar la información obtenida, antes de realizar una inversión en la zona seleccionada.

RESULTADO / PRODUCTO

- Clasificación de tierras basada en la idoneidad agrícola.
- Selección de tierras óptimas para la promoción de SPIS.

DATOS REQUERIDOS

- Datos sobre la cobertura del terreno – uso del suelo;
- Marco de clasificación de la aptitud de terrenos (p. ej. FAO)

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Técnicos agrícolas
- Analistas expertos en teledetección
- Ministerios de agricultura

ASUNTOS IMPORTANTES

Siempre es importante llevar a cabo un seguimiento del análisis de la cobertura del terreno con visitas de campo en las áreas seleccionadas. Las imágenes aéreas y satelitales suelen ser muy precisas, no obstante, si no se usan datos actuales, es importante verificar la selección.

IRRADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es un factor clave en la evaluación del potencial de mercado para SPIS en una región determinada. Hace referencia a la cantidad de energía incidente por unidad de área sobre la superficie terrestre en unidades de vatios hora por metro cuadrado. Los sistemas FV usan la radiación global horizontal (GHI, siglas en inglés), la cantidad total de radiación recibida de arriba por una superficie horizontal. La GHI está compuesta por la radiación normal directa (DNI, siglas en inglés) – que es la cantidad de radiación solar recibida por unidad de área por una superficie perpendicular a los rayos incidentes; y la radiación horizontal difusa (DHI, siglas en inglés) – que es la cantidad de radiación recibida por unidad de área por una superficie en la que los rayos solares no inciden directamente,

pero está afectada por las moléculas y partículas dispersas en la atmósfera.

La radiación solar puede ser clasificada en cuatro clases: los niveles inferiores a 2.6 kWh/m² se clasifican como radiación solar baja, mientras que los niveles entre 2.6 y 3 kWh/m² se consideran radiación solar moderada. Cuando la radiación solar oscila entre 3 y 4 kWh/m², se considera radiación solar alta, y cuando supera los 4 kWh/m², se habla de una radiación solar muy alta. Es importante señalar que esta clasificación se usa con el fin de distinguir la eficiencia de los sistemas, ya que los avances en tecnologías solares han permitido construir sistemas en casi todas las áreas que reciben radiación solar. En áreas de baja radiación, la eficiencia de los sistemas se verá comprometida debido al bajo rendimiento de los paneles. Además, el montaje de paneles solares en zonas de radiación solar baja puede llevar a altos costos, debido a la mayor cantidad de paneles requerida para generar la misma cantidad de energía que otras regiones con mayor radiación. Es por eso que se ha de señalar que debido a los avances tecnológicos, la radiación solar es más bien una consideración económica que una cuestión de viabilidad técnica.

RESULTADO / PRODUCTO

- Clasificación de regiones basada en la GHI o el producto FV de los sistemas
- Identificación de lugares óptimos para SPIS

DATOS REQUERIDOS

- Datos sobre la radiación global horizontal

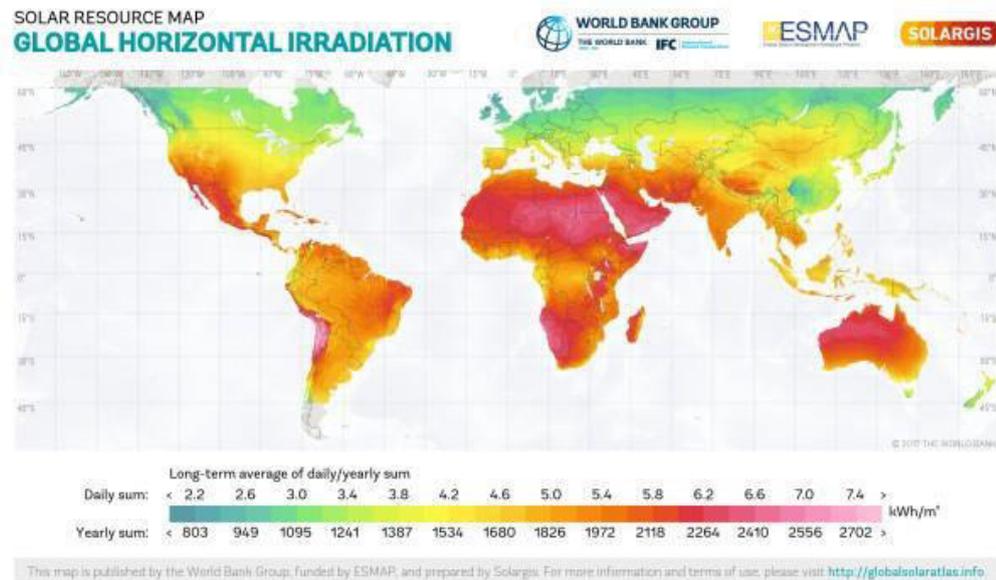
PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Instaladores de sistemas FV
- Proveedores de servicios meteorológicos
- Proveedores de equipamiento solar

ASUNTOS IMPORTANTES

- Hay varios factores que afectan la funcionalidad de un sistema FV, además de la radiación solar. Dos

de los más importantes son la temperatura y el relieve, los cuales serán explicados más adelante en la sección de temperatura ambiente y topografía en este mismo módulo.



Radiación solar horizontal global
(Fuente: Grupo Banco Mundial, 2018)

DISPONIBILIDAD DEL AGUA

Este parámetro investiga la cantidad y calidad del agua disponible para el riego en un área potencial para SPIS. Los requerimientos para el agua de riego dependen del balance obtenido de las necesidades de agua de los cultivos y el agua disponible.

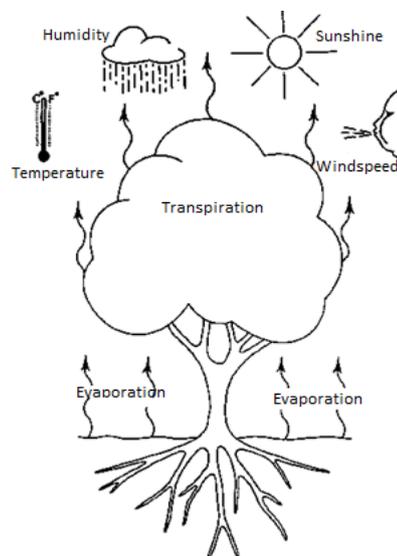
Las necesidades de agua de los cultivos

se define generalmente como la cantidad de agua que necesita una planta para vivir y crecer, y se mide en milímetros diarios, mensuales o estacionales. Es afectada por varios factores, incluyendo:

1. **Las condiciones climáticas**, incluyendo la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. En consecuencia, los requerimientos de agua para un cultivo varían en función de las condiciones climáticas, con la
2. mayor demanda en áreas cálidas, secas, ventosas y soleadas;
3. **El tipo de cultivo** afecta la demanda de agua, tanto a corto (demanda de agua diaria) como a largo plazo (demanda de agua estacional);
4. **La fase de crecimiento** para un cultivo particular también afecta a su demanda de agua. Por ejemplo, una planta de maíz madura puede necesitar más agua que una planta en fase de brote. Suelen haber datos locales disponibles sobre la demanda de agua de cultivos en oficinas del ministerio de agricultura local. La **herramienta de cálculo de necesidades de agua** bajo el módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**, al igual que recursos proporcionados por la FAO pueden ser utilizados para la estimación de la demanda de agua.

La disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo depende de tres fuentes principales: precipitaciones,

recursos de aguas subterráneas y superficiales.



Mayores factores climáticos que afectan la demanda de agua de los cultivos.

(Fuente: Food and Agriculture Organization of the United Nations)

Precipitación, la cantidad de lluvias en un área influye directamente en las necesidades de riego en el área. Si la cantidad de precipitaciones recibidas en una región es suficiente para alcanzar la demanda de los cultivos plantados, no es necesario el riego adicional. Cuando el volumen de lluvias no es adecuado, el abastecimiento de agua proveniente de recursos subterráneos o superficiales es imprescindible para el crecimiento del cultivo. La suficiencia del agua de lluvia puede ser evaluada comparándola con la necesidad de agua de los cultivos utilizando **SALVAGUARDA EL AGUA - Herramienta de cálculo de necesidades de agua**.

Lluvia efectiva – se refiere a la cantidad de agua de lluvia recibida en un área, disponible para su utilización en cultivos. El volumen puede ser afectado por varios factores, incluyendo la textura y estructura del suelo, el clima, la topografía y la

profundidad de la zona de raíces de los cultivos¹, entre otros. Estos factores afectan el caudal de escorrentía superficial y de percolación/infiltración más allá de la zona de raíces. La cantidad de agua de lluvia retenida en la zona de raíces que puede ser utilizada por las plantas se denomina lluvia efectiva. No obstante, debido a la falta de datos (p. ej. sobre el tipo de suelo, la fiabilidad de la lluvia y la topografía), la FAO proporciona estimaciones aproximadas para la lluvia efectiva por precipitaciones reales.

Fuentes de agua superficiales y subterráneas – la necesidad de hacer uso de estos recursos con el fin de eliminar el déficit de lluvias hace visible el potencial de mercado de SPIS. No obstante, es importante señalar que factores como la proximidad de la fuente de agua y el rendimiento de la misma, las tasas de recarga de acuíferos, la calidad del agua, los permisos y derechos de extracción de agua han de ser considerados a la hora de identificar y de diseñar SPIS para áreas determinadas. El rendimiento de una fuente de agua, por ejemplo, influye directamente en el tipo de método de riego a elegir. En situaciones de provisión inapropiada de agua, suelos sensibles o agua de baja calidad (sedimentación, salinidad o dureza del agua), métodos de riego apropiados como por goteo o aspersor son preferibles. El riego de superficie es preferible si el agua contiene grandes cantidades de sedimento que puede obstruir la tubería para goteo o del sistema por aspersión. Una explicación más detallada puede leerse en el módulo **DISEÑA**.

RESULTADO / PRODUCTO

- Clasificación de las regiones basada en la demanda de agua de los cultivos vs la precipitación efectiva.
- Identificación de las fuentes de agua subterráneas y superficiales.

DATOS REQUERIDOS

- Datos mensuales sobre la precipitación
- Información sobre los cuerpos de agua superficiales y sistemas de acuíferos de aguas subterráneas.
- Licencias y derechos de extracción de agua
- Tasas del caudal
- Demanda de agua de los cultivos

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Proveedores de servicios meteorológicos
- Autoridades para la gestión de los recursos hídricos y autoridades para la otorgación de licencias de extracción de recursos hídricos
- Consultores agrícolas
- Organizaciones y Consejos de Riego

ASUNTOS IMPORTANTES

- El análisis de las precipitaciones y de las fuentes de agua subterráneas y superficiales deberán ser seguidas de una verificación de datos de los entes gubernamentales en cuestión (p. ej. centros nacionales de meteorología, autoridades para la gestión de recursos hídricos) antes de llevar a cabo la inversión.
- Para determinar las necesidades de agua de los cultivos se puede hacer uso de la **herramienta de cálculo de necesidades de agua** en el módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**.

¹ La zona de raíces es la zona en el suelo en la cual se encuentran las raíces de una planta, desde la cual puede absorber agua.

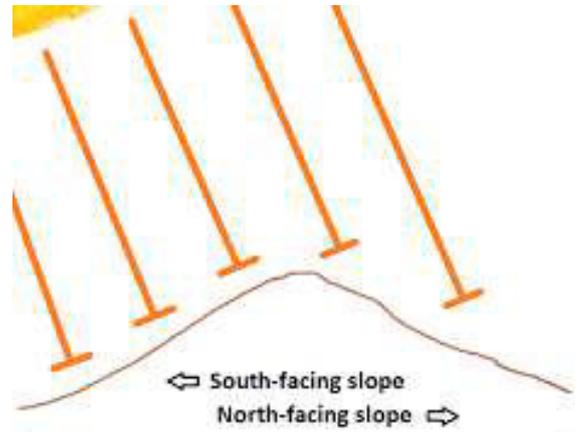
- La adopción de SPIS deberá asegurar una extracción de agua sostenible de las fuentes de agua identificadas. El módulo **SALVAGUARDA EL AGUA** proporciona información sobre la gestión de los recursos de agua sobre la extracción de agua sostenible e incluye una lista de verificación de la gestión de los recursos hídricos.

TOPOGRAFÍA

La topografía describe la elevación y las características del relieve de la superficie terrestre. Las características del relieve incluyen formas naturales como hechas por el hombre, tales como calles, colinas, valles, vías férreas, entre otras. Las características topográficas clave para la evaluación del potencial de mercado de SPIS son la pendiente y la orientación.

Pendiente es la medida del cambio de elevación a lo largo de una distancia determinada. Indica cómo es la inclinación de un área y es un factor determinante para la promoción del tipo de riego. Esto a su vez determinará el costo y la demanda de trabajo (p. ej. las prácticas de control de la erosión y la canalización para el agua). Por ejemplo, el riego de superficie es más apropiado en áreas de terreno ondulado y es más barato que el riego por aspersión o goteo, que serán mejores en terreno irregular y empinado. Así pues, asociando terrenos empinados con un factor como el acceso limitado a financiación (v. capítulo 3), supondría un potencial de mercado bajo para SPIS.

Orientación es la dirección a la que da una pendiente. Es especialmente relevante para sistemas en mayores latitudes y raramente afecta a sistemas cercanos o situados en el ecuador. La orientación influye en la cantidad de radiación solar que una pendiente recibe, así como la variabilidad de temperatura diaria y la humedad relativa a la pendiente.



The sun's rays strike south-facing slopes more directly than north-facing slopes in the northern hemisphere.

Los efectos de la orientación

(Fuente: <http://www.explorenaturalcommunities.org>)

En general, una mayor cantidad de luz solar directa tiende a incidir en las pendientes con orientación sur y suroeste, mientras que pendientes con orientación norte suelen tener más sombra en el hemisferio norte. En el hemisferio norte ocurre a la inversa, siendo las pendientes con orientación norte y noroeste aquellas que reciben más luz solar.

Un análisis topográfico de posibles sitios para SPIS puede ser llevado a cabo mediante el uso de mapas topográficos basados en la configuración física de la superficie terrestre sirviéndose de líneas de nivel, así como símbolos de características de origen antropogénico o natural. Los usuarios también pueden usar modelos digitales de elevación (MDEs), que son bases de datos especializadas que representan el relieve de la superficie entre puntos de una elevación conocida. Los MDEs pueden ser utilizados en plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIGs). Este procedimiento deberá ser seguido de un ejercicio de verificación del terreno para determinar la pendiente y orientación exactos en el área de interés.

RESULTADO / PRODUCTO

- Determinación de la pendiente y orientación de posibles mercados de SPIS
- Selección de sistemas de riego aptos según la topografía del posible mercado de SPIS.

DATOS REQUERIDOS

- Mapas topográficos
- Modelos Digitales de Elevación (MDEs)

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Autoridades de tierras y estudios

ASUNTOS IMPORTANTES

- Deberá tenerse en cuenta el posible riesgo de erosión causada por sistemas de riego en áreas de elevada pendiente.

CULTIVOS Y GANADO

Un resumen de los tipos de cultivos y/o ganado predominantes en el país o la región de interés ayuda a entender qué SPIS es más adecuado, y es indicativo para el potencial de mercado de la tecnología de SPIS. Esto es particularmente relevante para proveedores de SPIS y entidades que busquen promocionar la adopción de SPIS por productores agrícolas. Esta información puede ser obtenida del ministerio de agricultura correspondiente, de estudios e investigaciones internacionales sobre las áreas de cultivo, y de bases de datos de la FAO sobre cultivos, entre otras fuentes.

Además, las partes interesadas en promocionar o configurar esquemas de SPIS pueden usar las zonas agroecológicas (AEZs, siglas en inglés) para determinar los cultivos y el ganado más apropiados para el área de interés. Las AEZs definen áreas basándose en una combinación de datos sobre el suelo, el relieve, y las características climáticas, asociando los cultivos y el ganado más

aptos para las diferentes regiones. Las zonas también pueden ser usadas para determinar el posible rendimiento de los cultivos principales de la zona, haciendo posible una proyección de los posibles ingresos del mercado objetivo. Como fue presentado en el capítulo 3 en la sección de finanzas, el acceso a una financiación es el parámetro clave a la hora de evaluar el potencial de mercado para SPIS.

El portal de zonas globales agroecológicas (GAEZ, siglas en inglés) de la FAO y del Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) pone a disposición un portal online comprensible con detalles sobre los recursos de la tierra, los recursos agro-climáticos, la idoneidad y el posible rendimiento, el rendimiento actual y la producción, y el rendimiento y los vacíos de producción. Las partes interesadas en SPIS pueden hacer uso de esta herramienta u otras similares para determinar las características importantes que influyen en el tipo de cultivo o ganado en un área determinada.

RESULTADO / PRODUCTO

- Lista de cultivos y ganado para países y regiones determinados
- Clasificación de AEZs para áreas determinadas
- Posible rendimiento de cultivos/ganado en el área de interés

DATOS REQUERIDOS

- Las GAEZs de la FAO y del IIASA

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Ministerio de Agricultura

TEMPERATURA AMBIENTE

Como ya dice el título, este parámetro trata la temperatura de las áreas vecinas. Esto afecta de dos maneras el potencial de SPIS: **1) afecta la eficiencia de SPIS y 2) afecta a los cultivos y al ganado en el área de interés.**

En cuanto a la **eficiencia de SPIS**, la temperatura es un factor clave en el diseño

del sistema de bombeo, ya que afecta su funcionamiento y la vida útil del equipo FV solar. El flujo de electricidad y la salida de voltaje de los paneles solares depende linealmente de la temperatura a la que operen los paneles. Temperaturas bajas producen una resistencia reducida a la electricidad, resultando en una salida de voltaje mayor; temperaturas altas incrementan la resistencia y conllevan a salidas de voltaje menores. Temperaturas ambiente altas también afectan el funcionamiento del inversor del sistema, reduciendo su frecuencia, lo cual reduce su eficiencia y la tasa de flujo de la bomba.

Debido a la variabilidad climática en diferentes regiones, la mayoría de los paneles no operan bajo condiciones térmicas ideales. Para corregir esto, los paneles en zonas más calurosas son diseñados con sistemas de enfriamiento para mantener los paneles a una temperatura específica.

Además, los sistemas FV, bajo condiciones de temperatura variables, deben ser adaptados para asegurar que la salida de voltaje no sea demasiado alta, lo cual podría dañar el equipo.

La variedad de cultivos y ganado aptos para el área pueden verse afectados por la temperatura ambiente. Un análisis del régimen térmico aplicando una zonificación puede revelar la aptitud de los cultivos y del ganado para una región basándose en la temperatura. Esto puede suponer una necesidad de SPIS para la región en cuestión.

RESULTADO / PRODUCTO

- Determinación de la temperatura ambiente en posibles mercados de SPIS
- Selección de la tecnología solar más apropiada basándose en la temperatura
- Determinación de los cultivos y ganado más aptos basándose en la temperatura.

DATOS REQUERIDOS

- GAEZs de la FAO y del IIASA

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Proveedores de servicios meteorológicos

ASUNTOS IMPORTANTES

- La selección de paneles debería ser realizada considerando la temperatura ambiente para maximizar la eficiencia del sistema y asegurar la salida de voltaje adecuado.

DEMOGRAFÍA

El entendimiento de las características demográficas, incluyendo la densidad de la población, su edad, los niveles y patrones migratorios y los ingresos familiares proporcionan información adicional a la hora de tomar decisiones en posibles mercados de SPIS. Estas características pueden ser usadas como indicadores proxy sobre los niveles de pobreza, la disponibilidad de mano de obra, las prácticas agrícolas predominantes y los asentamientos urbanos, entre otros.

Este parámetro no puede ser usado a solas, pero en combinación con otros parámetros puede proporcionar un entendimiento más profundo sobre la dinámica social y las condiciones culturales de una región objetivo. Por ejemplo, como ya se mencionó antes, uniendo la topografía con el parámetro de la pobreza puede ayudar a deducir el potencial de mercado. Además, un análisis de la densidad de población y de la cobertura del terreno pueden destacar las áreas con mayor densidad poblacional o asentamientos urbanos, lo cual sirve de factor para determinar la viabilidad del potencial de mercado de SPIS. Los SPIS no pueden ser instalados en sitios de alta densidad demográfica, pero sí en zonas cercanas para proveer al mercado productor.

Una evaluación de las características demográficas, por ejemplo a través de los ingresos familiares, junto a los parámetros empresariales, tales como la financiación o los efectos de la pobreza, pueden ayudar a subrayar la capacidad doméstica para implementar sistemas SPIS.

RESULTADO / PRODUCTO

- Correlación de las características demográficas con parámetros geofísicos y empresariales de SPIS para identificar asuntos relevantes a la hora de determinar el potencial de mercado de SPIS.

DATOS REQUERIDOS

- Informes de censo
- Imágenes de satélite de la población global

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Ministerios gubernamentales, incluyendo los ministerios de trabajo y de migración
- Estadísticos

3. EVALUACIÓN DEL ENTORNO EMPRESARIAL

Mientras que adoptar un sistema SPIS en una región puede ser factible desde un punto de vista geofísico, el entorno empresarial también tiene un papel clave para la implementación de la tecnología. Existen varios factores que pueden contribuir para crear un entorno favorable para la adopción de SPIS, cuya importancia varía según la entidad promotora de SPIS. Los 9 parámetros presentados en este capítulo son de mayor importancia en este sentido.

INTERVENCIÓN GUBERNAMENTAL

Las intervenciones del gobierno como parámetro del entorno empresarial de SPIS hace hincapié en la políticas, las normas y regulaciones prevaecientes en el sector del regadío y de la energía solar de un país.

Juntos proporcionan una imagen completa de la fortaleza y del alcance que tiene el apoyo gubernamental y de las acciones llevadas a cabo para convertir ese soporte en una realidad. Normalmente, las políticas y regulaciones gubernamentales varían de un país a otro, pero se pueden resumir bajo los siguientes términos:

1. **Promoción de sistemas de energías renovables,** especialmente solar
2. **Programas de promoción de equipos de riego,** en particular SPIS y
3. **La presencia de cuerpos estatales e importancia** dando apoyo al sector.

Un indicador importante de un entorno político y reglamentario efectivo en el campo de SPIS son los programas de implementación y soporte del marco legal. Por ejemplo, si los programas tienen un planeado un presupuesto indicativo y un objetivo, puede significar que el gobierno está comprometido para implementar dicha política. Además, la presencia de

cuerpos del gobierno para hacer seguimiento del progreso de la implementación y del cumplimiento de estándares, es indicador de que las políticas y regulaciones van a llevarse a cabo.

Sirva de ejemplo, un país X, que tiene una cláusula en su Acta de Energía sobre la adopción de energías renovables en su país, incluyendo la energía solar, comparado con un país Y, que tiene la misma cláusula, pero ha desarrollado regulaciones para energía solar, determinando estándares para el equipo y diseñando un programa de subvenciones para promocionar la adopción de SPIS entre pequeños agricultores y agricultoras. El país Y tendrá un mejor entorno para la promoción y adopción de SPIS.

RESULTADO / PRODUCTO

- Determina el paisaje regulatorio de una región y su apetito por SPIS

DATOS REQUERIDOS

- Información sobre regulaciones y políticas gubernamentales para energía solar y equipo de riego
- Lista de los programas que promueven SPIS
- Lista de los cuerpos del gobierno involucrados en temas de energía solar y/o riego
- Indicadores reguladores del Banco Mundial para energías renovables (RISE) ayudan a la hora de comparar políticas nacionales y marcos regulatorios para energías sostenibles

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Gobiernos nacionales y locales
- Ministerios de energía y regadío

ASUNTOS IMPORTANTES

Algunas de las políticas pueden cruzar varios ministerios del gobierno. Por ejemplo, una política de comercio puede deshacer el derecho arancelario para equipos de energía solar. Esto seguiría siendo una intervención del gobierno pero centrada en las finanzas. Esto será tratado en el parámetro sobre financiación en el módulo sobre el entorno empresarial.

INTERVENCIONES DE ORGANIZACIONES DE DESARROLLO

Las organizaciones de desarrollo pueden introducir una agenda o programas que presenten una influencia importante en la adopción de SPIS en un país o región. La mayoría de estas organizaciones construyen sus agendas en torno a los objetivos del desarrollo sostenible (SDGs, siglas en inglés), requiriendo un entendimiento de SPIS en el entorno de los SDGs. SPIS cubre varios SDGs, incluyendo:

- **SDG nº 2** que persigue acabar con el hambre, asegurando la seguridad alimentaria y la mejora nutricional, promocionando una agricultura sostenible;
- **SDG nº 7** el cual persigue asegurar un acceso a energía asequible, seguro, sostenible y moderno para todos y todas;
- **SDG nº 13** que persigue tomar urgentemente medidas para combatir el cambio climático y sus consecuencias.

Por ello es importante entender las áreas de acción objetivo para las organizaciones de desarrollo establecidas en un país o región para identificar las oportunidades para SPIS.

Las organizaciones de desarrollo varían entre organizaciones de la sociedad civil, instituciones de investigación, y organizaciones de desarrollo bilaterales y multilaterales. La participación de estas organizaciones en la promoción de

SPIS a un nivel localizado está bien posicionada para llevar varios de los elementos necesarios para promocionar SPIS de manera sistemática e integrada con el fin de facultar a actores individuales y crear un impulso en el mercado.

Habitualmente las organizaciones de desarrollo varían de un país a otro, pero se pueden distinguir tres tendencias en los siguientes términos:

- i) Organizaciones con programas nacionales que promueven la adopción de sistemas de riego
- ii) Agencias de desarrollo con programas nacionales para la promoción específica de SPIS.

Las organizaciones de desarrollo se distinguen en conocimiento, experiencia, necesidades y capacidad. Cada cual evalúa el mercado de manera diferente, y sus áreas de competencia abordan respectivamente los obstáculos en el mercado del desarrollo. En conjunto, se forma una imagen más comprensiva del potencial de mercado para SPIS, incluyendo las barreras que impiden su adopción y los incentivos necesarios para seguir adelante.

Países o regiones con intervenciones nacionales en el sector del riego y/o de SPIS tienden a crear una atmósfera positiva a favor de la implementación de SPIS.

RESULTADO / PRODUCTO

- Evaluación de las intervenciones nacionales de agencias de desarrollo en el sector del riego y SPIS en un país o región.

DATOS REQUERIDOS

- Lista de las posibles agencias de desarrollo en el sector del riego y/o de sistemas solares

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Organizaciones de la sociedad civil
- Instituciones de investigación
- Organizaciones bilaterales
- Organizaciones multilaterales

ASUNTOS IMPORTANTES

- Para que una agenda o un programa se convierta en parámetro importante con influencia en el potencial de mercado de SPIS, es necesario que sea de unas dimensiones suficientemente grandes para mover la dinámica del mercado. Por ejemplo, un programa implementado a escala nacional tendrá probablemente un impacto más significativo en las operaciones de SPIS que uno implementado a nivel local.

FINANCIACIÓN

Adoptar SPIS supone una serie de costos iniciales importantes que frecuentemente limitan su implementación, especialmente entre productores de bajos ingresos. Para algunos, la agricultura es el único medio de vida, e invertir en un equipo de SPIS supondría retirar los medios financieros de otras necesidades domésticas. La habilidad de poder pagar los altos costos de capital que suponen una barrera importante para SPIS, a pesar de que los costos de su ciclo de vida son inferiores a los de soluciones alternativas. Por lo tanto, para facilitar la adopción de estos sistemas es necesario el apoyo en términos de financiación.

Algunos gobiernos, agencias de desarrollo y el sector privado tienen varios mecanismos de desarrollo en diferentes regiones para ofrecer este tipo de apoyo. La financiación de SPIS puede ser vista desde dos perspectivas:

- a) La capacidad financiera de los usuarios finales
- b) La disponibilidad de apoyo financiero institucional

Capacidad financiera del usuario final

Este parámetro analiza la capacidad de compra de los usuarios finales como indicador clave del potencial de mercado de SPIS en una región. Ayuda a determinar la cantidad de capital disponible y/o alcanzable para el usuario final, incluyendo opciones de financiación ajenas al mercado. Así puede determinarse la capacidad de financiación y consecuentemente, también la capacidad de compra de un SPIS.

La capacidad financiera de una población y su acceso a servicios financieros puede ser deducida de factores como la incidencia de pobreza, los índices de empleo e ingresos y la prevalencia de instituciones financieras en un área. Otros factores podrían incluir el número de cuentas individuales en entidades financieras, el valor de ahorros de clientes y las tasas de préstamos en entidades financieras, así como la facilidad de obtención de crédito. También puede servir de indicador el ingreso nacional bruto (INB).

Disponibilidad de apoyo institucional

El apoyo institucional puede venir del gobierno, de agencias de desarrollo o del sector privado. Estos influyen en el ritmo en el que el usuario final puede recaudar financiación externa. El apoyo financiero del gobierno puede ser en forma de subsidios, incentivos tributarios, reembolsos, incentivos aduaneros y de deudas. El apoyo estatal suele ser más efectivo en las fases iniciales de desarrollo de mercado y finaliza cuando el mercado ha alcanzado su madurez. Las agencias de desarrollo también ofrecen ayudas, financiación basada en resultados (RBF, siglas en inglés), subvenciones y créditos blandos. Cuantos más mecanismos de financiación haya disponibles en un país o región, mejor para el potencial de mercado.

También es fundamental evaluar los mecanismos de financiación para otras fuentes de energía para riego. Por ejemplo, el apoyo del gobierno puede, de manera directa o indirecta, promocionar el uso de otras fuentes de combustible como

diésel o electricidad. Así pues, una subvención para la electrificación rural o la subvención de butano para cocinar puede invalidar la adopción de SPIS en un país o región si los costos recurrentes de energía son insignificantes comparados con los costos iniciales de SPIS.

RESULTADO / PRODUCTO

- Evaluación del panorama financiero de una región

DATOS REQUERIDOS

- Incidencia de pobreza en la población rural
- Proporción de cuentas bancarias formales con la población de áreas rurales
- Valor de los ahorros y acceso a créditos en la población rural
- INB per cápita
- Gráficos de empleo
- Política fiscal para energía solar y riego
- Agencias de desarrollo que financien el riego y SPIS

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Gobiernos
- Organizaciones de la sociedad civil
- Instituciones de investigación
- Organizaciones bilaterales
- Organizaciones multilaterales
- Entidades financieras

ASUNTOS IMPORTANTES

- La evaluación del panorama financiero debería ir más allá del poder adquisitivo de los usuarios finales (capacidad financiera individual y soporte institucional) para incluir las opciones de financiación para otras fuentes de energía para riego.

DISPONIBILIDAD Y COSTO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

La viabilidad económica de SPIS en una región puede verse afectada por la disponibilidad y el costo de combustibles alternativos. En la mayoría de los casos, para el mismo tamaño de una bomba, SPIS requiere un capital inicial más alto que una bomba a diésel o conectada a la corriente eléctrica. No obstante, estas últimas opciones tienen unos costos de ciclo de vida, mientras que SPIS no necesita evaluar los ahorros de combustible y los periodos de amortización en el mercado objetivo.

Una evaluación de la disponibilidad debería determinar la cantidad y calidad de combustibles alternativos para el bombeo de agua. Por ejemplo, si un país o región explota combustibles fósiles, es probable que la energía obtenida de combustibles fósiles se vea favorecida frente a la energía solar. Para electricidad, la tasa de electrificación rural puede ayudar a determinar la disponibilidad de electricidad para el bombeo de agua. Manteniendo otros factores constantes, cuanto más electrificada esté un área rural, (donde la mayoría de las prácticas agrícolas tienen lugar), mayor será la probabilidad que una proporción notable de la población use electricidad para el bombeo. El costo y la calidad de la electricidad, no obstante, son factores que afectan el uso de la electricidad para el riego. Por ejemplo, puede haber una tasa alta de electrificación, pero también apagones frecuentes, que hagan el uso de la electricidad como fuente de energía poco fiable, presentando una oportunidad para SPIS.

En algunas regiones, la energía eólica también puede ser considerada una fuente de energía competidora para el bombeo para riego. Algunos estudios han demostrado que la aplicabilidad y viabilidad económica de la energía eólica compite con la energía solar a velocidades mayores que 8 m/s.

Además de las consideraciones financieras presentadas en la sección anterior, el costo de fuentes de energía alternativas puede tener un efecto considerable sobre el potencial de SPIS en el mercado. Una forma de llevar a cabo una **evaluación de costos** de las fuentes de energía disponibles es estandarizando la unidad de medida – determinar el precio de mercado por unidad (costo/kWh) de las fuentes de energía competidoras en el mercado. Esto permite una estimación de la cantidad de combustible requerida para una bomba de un tamaño determinado y consecuentemente el costo para poner en funcionamiento la bomba. Frecuentemente se observa que cuanto más bajos son los costos de fuentes de energía alternativas comparadas con el capital de inversión para adquirir SPIS, menor será el potencial de mercado de SPIS.

RESULTADO / PRODUCTO

- Disponibilidad de fuentes de energía alternativas en una región o país
- Análisis de costos por unidad de dichas alternativas

DATOS REQUERIDOS

- Información sobre los recursos energéticos del país
- Precios por unidad de mercado de diésel, gasolina
- Precios de mercado de electricidad por kWh
- Tasa de electrificación en áreas rurales
- Calidad de la electricidad en áreas rurales

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Agencias gubernamentales de energía

ASUNTOS IMPORTANTES

- Es importante determinar si hay subsidios estatales para las fuentes de energía alternativas presentadas. Estos pueden ser disuasivos para la

adopción de SPIS en un país o región.

CAPACIDAD TÉCNICA

Una buena intervención para promover e incrementar el uso de SPIS supondría la necesidad de cierta capacidad técnica para proveedores de energía solar que diseñen, instalen y lleven a cabo el mantenimiento de los sistemas. La falta de dicha capacidad dificulta la sostenibilidad del mercado de SPIS en el país o región. La disponibilidad de dicha capacidad es especialmente de crucial importancia en las etapas iniciales del mercado – cuando la tecnología le es presentada por primera vez al usuario final y las primeras impresiones son críticas para una adopción a largo plazo del sistema. Por ejemplo, la instalación pobre puede llevar a averías frecuentes y la falta de reparaciones puntuales de SPIS puede resultar en una actitud negativa de cara a SPIS por parte de los usuarios finales, limitando el potencial de mercado para SPIS.

La capacidad técnica evalúa la disponibilidad de personal cualificado para la instalación y el mantenimiento de SPIS. Puede ser deducida a partir de:

- i) La disponibilidad de cursos de entrenamiento en sistemas solares
- ii) El número de instituciones acreditadas que ofrezcan cursos sobre energía solar y
- iii) El licenciamiento de técnicos de energía solar.

Además de la presencia de técnicos cualificados, la presencia de un cuerpo licenciador y regulador para dichos practicantes es clave. El licenciamiento es indicador de que existen estándares de profesionalidad y un regulador del mercado. Por ejemplo, el regulador energético de Kenia – la comisión reguladora de energía (ERC, siglas en inglés) – lleva un registro de todos los practicantes en el sector solar que deben adherirse a un código de conducta y estándares determinados. Además lleva

una base de datos de miembros que sirve de fondo para obtener técnicos cualificados para la instalación y el mantenimiento de sistemas solar FV.

RESULTADO / PRODUCTO

- Evaluación del nivel de cualificación de un país/región

DATOS REQUERIDOS

- Lista de los institutos de entrenamiento en energía solar y cursos
- Lista de técnicos licenciados

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Agencias de energía

CONCIENCIACIÓN SOBRE LA TECNOLOGÍA FV SOLAR

La concienciación sobre las tecnologías solares (iluminación solar y calentamiento de agua solar) y sobre sistemas de riego, principalmente bombas, puede ser un buen indicador de la disposición de la población a adoptar tecnologías similares. El caso contrario también es posible – la falta de conocimiento e información sobre tecnologías solares puede suponer una barrera a la discusión pública y para los decisores sobre el uso de energía solar como solución energética alternativa. Como ejemplo, altos niveles de concienciación entre los usuarios finales sobre las ventajas, los costos a largo plazo y los periodos de amortización, el rendimiento de la energía solar comparado con el de otras fuentes de energía (p. ej. queroseno) puede actuar como facilitador en la adopción de SPIS. Una falta de confrontación con instalaciones FV solares en la vida real puede llevar a un nivel bajo de confianza en nuevas tecnologías solares.

La concienciación de tecnologías FV solares puede afectar también el acceso público al mercado de financiación. Por ejemplo, un proveedor de servicios financieros que no conozca SPIS y los

beneficios relacionados puede mostrarse retinente a otorgar créditos para su adquisición, y en el caso de que sí sea posible la concesión de créditos, las condiciones del préstamo pueden ser limitantes (p. ej. altas tasas de interés). Esto impide la adopción de la tecnología debido a una falta de financiación para los altos costos de capital asociados con SPIS.

El nivel de concienciación de SPIS en una región o país pueden ser deducidos de varios factores, incluyendo:

1. **Tendencias en la adopción de bombas de riego.**
 - a. La presencia de proveedores y distribuidores de marcas globales de bombas para riego y sus piezas de repuesto asociadas son indicadores del potencial de mercado. Esto es especialmente relevante para proveedores de SPIS donde la presencia y la curva de crecimiento de competidores pueden ser indicativas para el apetito de mercado para SPIS.
2. **El porcentaje de energía solar en el conjunto energético de un país**
 - a. Una proporción importante de la energía solar puede ser indicador de un entorno propicio para la adopción de tecnologías FV solares.
3. **Tendencias de adopción de energía FV solar** en un periodo de tiempo, por ejemplo de 5 años, puede ser evaluado para determinar la adopción de la tecnología en un país/región.

RESULTADO / PRODUCTO

- Evaluación del nivel de concienciación de un país/región

DATOS REQUERIDOS

- Tendencias en adopción de tecnologías solares

- Número de distribuidores y proveedores de marcas globales de bombas para riego
- Porcentaje de energía solar en el conjunto energético de un país

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Entes energéticos y de mercado del gobierno
- Instituciones de investigación

IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA EN LA ECONOMÍA LOCAL

Este parámetro examina la contribución de la agricultura en la economía del área objetivo. Entre los indicadores relevantes se encuentran:

1. **Proporción de la población empleada en el sector agrícola** – cuanto mayor sea la proporción de la población empleada en agricultura, mayor será la probabilidad de que el potencial de mercado de SPIS sea alto. Esto es debido a que hay más personas que quieren asegurar la disponibilidad del agua en el sector.
2. **Cultura existente de riego** – la práctica de agricultura con riego normalmente hace uso de combustibles fósiles y la electricidad presenta un mercado preparado para cambiar a energía solar.
3. **Proporción del PIB atribuido a la agricultura** – regiones con un porcentaje significativo del PIB atribuido al sector agrícola tenderán a ofrecer un mercado atractivo para SPIS, ya que la agricultura es un impulsor económico. No obstante, deben tenerse en consideración los principales cultivos y tipos de ganado que contribuyen al PIB. Por ejemplo, café y té podrían ser importantes contribuidores pero estos no presentan posibilidades para la adopción de SPIS. Esto puede ser contrastado con la exportación de productos hortícolas

(p. ej. flores y verduras) que requieren mucha agua y por lo tanto dispuestas para el mercado de SPIS.

RESULTADO / PRODUCTO

- Contribución del sector agrícola al PIB

DATOS REQUERIDOS

- Gráficos del PIB
- Rendimiento agrícola
- FAOstats

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Ministerios de agricultura del gobierno

ASUNTOS IMPORTANTES

- Aunque la contribución del sector agrícola al PIB de un país disminuya con el tiempo, puede seguir siendo de interés para el crecimiento de la economía del país el sector más amplio en términos demográficos, y tener un papel importante en la producción socioeconómica del país.
- Además de la contribución de la agricultura al PIB el tipo y el método de prácticas agrícolas deberán ser evaluados. Las áreas que practican agricultura de regadío presentan mercados ideales para SPIS.

ACCESO Y TENENCIA DE TIERRAS

Mientras SPIS es un agronegocio, la tierra es su fundamento y por lo tanto importante para determinar los derechos de propiedad, el acceso a tierras y los términos de tenencia de estas en el área a evaluar. Por ello es esencial para un área tener un entorno de política territorial pragmático. Una política territorial deseable es aquella que se centra en el acceso a tierras y en el desarrollo, que asegure los derechos de propiedad, soportada por fuentes de información fiables y procesos de permisos claros. Una

buena política territorial tiene los servicios de la administración territorial, incluyendo censos y mapeos, planificación del uso del suelo, desarrollo rural y urbano, proveedores de servicios de información de mercado y de alojamiento bien establecidos. La escasez de información sobre leyes, procedimientos y/o información requerida para llevar a cabo de manera segura y legal las transacciones inmobiliarias y territoriales crea incertidumbre y disuade las inversiones.

El acceso a tierras se define como la disponibilidad de territorio con la seguridad requerida en cuanto a la titularidad, características físicas y económicas deseables y el nivel de transparencia y de equidad en las transacciones.

La tenencia de la tierra es la estructura institucional que determina el marco político, económico y social por el cual los individuos y grupos aseguran el acceso a tierras y a los recursos asociados. La ausencia de información fiable para guiar un mercado en expansión es el mayor obstáculo para el desarrollo a largo plazo de la mayoría de los países.

Derechos de tenencia claros son un factor importante a tener en cuenta a la hora de invertir en SPIS. No solo proporcionan una seguridad de inversión, sino también sirven de aval para pedir créditos. Para algunos países hay claras demarcaciones entre tierras comerciales (con títulos de propiedad fijos) y tierras comunales (con derecho de uso de tierras informales y prácticas agrícolas limitadas a agricultura de subsistencia).

RESULTADO / PRODUCTO

- Patrones y estadísticas de la propiedad de tierras

DATOS REQUERIDOS

- Acceso a tierras y derechos de tenencia en el país

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Ministerios gubernamentales, especialmente territoriales

INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES Y COMUNICACIÓN

La infraestructura es el sistema organizativo de recursos necesario para el funcionamiento de una sociedad o una empresa. La infraestructura de transportes, como caminos, puertos, aeropuertos y vías ferroviarias, y la infraestructura de telecomunicaciones son sistemas físicos necesarios para el desempeño eficiente de las operaciones en un país o región.

Infraestructura de transportes determina la facilidad de movimiento de bienes y personas. Una falta de infraestructura de transportes (p. ej. en áreas profundamente rurales e islas) puede tener impactos económicos importantes – sistemas de transporte ineficientes dificultan la obtención de insumos y el suministro de productos para clientes, afectando la adaptabilidad y cualidad de los servicios. Para el potencial de mercado de SPIS, una buena infraestructura de transportes supondría una reducción de costos de instalación del sistema, al igual que un acceso más fácil a mano de obra calificada para la instalación y mantenimiento. Además, unos costos de transporte menores podrían llevar a una mejor distribución de fondos en negocios en funcionamiento y una mayor facilidad de acceso a nuevos mercados. Una buena conectividad física en áreas urbanas y rurales es por lo tanto esencial para los usuarios de SPIS.

Infraestructura de comunicación (especialmente la conectividad en telefonía móvil) sería relevante para SPIS como indicador para el acceso a las transferencias bancarias por móvil en áreas rurales y en la implementación de sistemas de monitoreo de SPIS. El uso de teléfonos móviles en áreas rurales también muestra al usuario la posibilidad de acceder a servicios como información sobre temas agrícolas y de financiación,

tales como las remesas y créditos vía móvil.

RESULTADO / PRODUCTO

- Evaluación de la infraestructura de transportes y comunicación

DATOS REQUERIDOS

- Información sobre la red de transportes, especialmente en áreas rurales
- Información sobre la penetración del mercado de telefonía móvil en áreas rurales

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Ministerio gubernamental de transportes y comunicación
- Informe del Banco Mundial sobre la facilidad de hacer negocios

4. DECISIÓN SOBRE EL POTENCIAL DE MERCADO DE SPIS

Este módulo presenta los parámetros que son clave para evaluar el potencial de mercado de SPIS en cualquier área objetivo. La evaluación de estos parámetros deberá tener en cuenta **QUIÉN** está evaluando el mercado y **POR QUÉ** lo está evaluando.

La evaluación de los parámetros presentados en este módulo debería llevarse a cabo en un orden secuencial.

EVALUACIÓN DE LOS ATRIBUTOS GEOFÍSICOS PONDERADOS

A pesar de que varios parámetros geofísicos son identificados para guiar la evaluación de los mercados de SPIS, 3 son considerados de crucial importancia para la viabilidad de las aplicaciones de SPIS, como se subraya en el capítulo 1. Si su estado es desfavorable en el área de interés, SPIS será probablemente poco practicable. Estos parámetros deberían ser ponderados en una escala binaria de 1, si las condiciones son favorables, y 0 si son desfavorables. Donde cualquiera de los parámetros reciba la puntuación 0, se concluye que el área objetivo no es ideal para la implementación de SPIS.

#	Parámetro	Ponderación
1	Cobertura del terreno – uso del suelo	0 o 1
2	Irradiación solar	0 o 1
3	Disponibilidad de agua (precipitación)	0 o 1

1. Evaluación de parámetros geofísicos adicionales

Son los parámetros geofísicos clave para la evaluación de mercado para SPIS, pero a diferencia de los parámetros en la tabla 1, no afectan de manera crítica la viabilidad de SPIS; afectan el éxito de adopción de SPIS caso por caso. La

importancia del impacto del mercado de SPIS depende de las necesidades del usuario final. Los parámetros están expuestos en el capítulo 2 y alistados más abajo.

#	Parámetro
1	Capa freática
2	Topografía
3	Temperatura ambiente
4	Cultivos y ganado

2. Evaluación del entorno empresarial

El primer y segundo paso en la evaluación examinan la practicabilidad de implementar SPIS en un país o área objetivo. Parámetros del entorno empresarial buscan establecer la viabilidad económica y operacional de SPIS en el mismo mercado.

La tabla a continuación subraya los criterios de ponderación propuestos de los módulos. No obstante, la evaluación de estos parámetros puede ser ponderada basándose en las áreas de interés del usuario y teniendo en consideración los factores más críticos.

#	Parámetro	Ponderación
1	Intervenciones gubernamentales	15 %
2	Intervenciones de organizaciones de desarrollo	10 %
3	Financiación	15 %
4	Disponibilidad y costo de alternativas	10 %
5	Capacidad técnica	10 %

6	Concienciación sobre la energía FV solar y sobre tecnologías de riego	10 %
7	Importancia de la agricultura para la economía local	10 %
8	Tenencia de la tierra	10 %
9	Infraestructura de transportes y comunicación	10 %
	TOTAL	100 %

RESULTADO / PRODUCTO

- Decisión sobre el potencial de adopción de SPIS para un mercado objetivo

DATOS REQUERIDOS

- N/A

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Empresas privadas de SPIS
- Políticos
- Entidades financieras
- Practicantes de desarrollo
- Gobiernos nacionales y locales

ASUNTOS IMPORTANTES

- Los parámetros presentados en este módulo presentan asuntos clave a considerar para llevar a cabo una evaluación de alto nivel del potencial de adopción de SPIS en un mercado objetivo. No obstante, es necesaria una evaluación detallada de mercado antes de llevar a cabo cualquier tipo de inversión.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Enlaces

Photovoltaic Efficiency: The Temperature Effect-

https://www.teachengineering.org/content/cub_/lessons/cub_pveff/Attachments/cub_pv_eff_lesson02_fundamentalsarticle_v6_tedl_dwc.pdf

A.W Worqlul, J. Jeong, Y. Dile, J. Osorio Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater in Ethiopia, Applied Geography 85 (2017) 1-13

N.G. Dastane, FAO Irrigation and Drainage Paper No 25-Effective Rainfall -FAO,1978

M. Masri, R. Badishah, Solar Radiation Potential as Energy Source of Photovoltaic Powered Uninterrupted Power Supply in Perlis, Northern Malaysia- IOSR-JEEE PP 31-36, 2014

European Wind Energy Association, 2009, The Economics of Wind Energy,

http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Economics_of_Wind_Energy.pdf

SNV, 2014, Renewable Energy for small holder irrigation,

https://www.practica.org/wp-content/uploads/2014/10/Renewable_Energy_for_Smallholder_Irrigation.pdf

Herramientas

MERCADO – Herramienta de evaluación de mercado

Otras herramientas pertinentes:

- **PROMUEVE – Herramienta de evaluación rápida de SPIS:** incluye un análisis del mercado (financiero) para la financiación de componentes de SPIS
- **INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización:** para calcular la viabilidad financiera de un SPIS y compararla con la de otros sistemas de bombeo alternativos (petróleo y electricidad de la red)
- **SALVAGUARDA EL AGUA – Herramienta de cálculo de necesidades de agua:** calculadora para determinar las necesidades de agua mensuales de diferentes cultivos y tipos de ganado
- **PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto:** determina el impacto social y medioambiental de un proyecto de SPIS

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.
Coefficiente 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

	<p>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.</p>
Emisor	<p>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”.</p>
Evaporación	<p>Pérdida de agua en forma de vapor de la superficie del suelo o de hojas húmedas. [mm]</p>
Evapotranspiración (ET)	<p>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]</p>
Flujo por gravedad	<p>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.</p>
Fotosíntesis	<p>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).</p>
Infiltración	<p>Acción y efecto de penetrar el agua en el perfil del suelo.</p>
Insolación	<p>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”.</p>
Irradiación (Radiación)	<p>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].</p>
Irrigación o riego	<p>Irrigación o riego es la aplicación controlada de agua para responder a las necesidades de los cultivos.</p>
Irrigación con fertilizantes (o fertiirrigación)	<p>Aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego. Una forma de irrigación química o quimigación.</p>
Irrigación química (o quimigación)	<p>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.</p>
Latitud	<p>La latitud especifica la posición norte-sur de un punto situado sobre la superficie de la Tierra. Es un ángulo que va de 0° en el ecuador a 90° (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</p>

	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	Expresa la cantidad de agua que requiere el sistema de riego. [mm]
Necesidades de agua de los cultivos	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	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 potencia 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 ²].
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

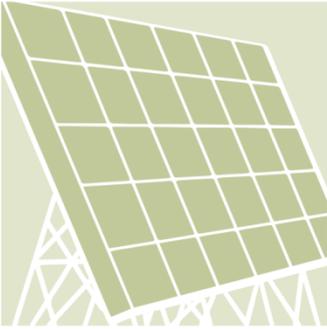
Riego por compartimientos (bancales o eras) – el agua es aplicada a una superficie completamente nivelada rodeada por diques

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 INVIERTE).
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]

POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 5: Invierte

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

Descargar

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.

Implemented by

© GIZ y FAO, 2018

 Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

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 _T	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 ²	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
Vd	Daily crop water requirement (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

INVIERTE

1. Herramientas básicas para la toma de decisiones



2. Política crediticia: Analizar el potencial



3. Política crediticia: Análisis de riesgos



4. Política crediticia: Seleccionar / desarrollar instrumentos financieros adecuados



5. Evaluación de préstamos: Determinar el volumen y la rentabilidad de la financiación



6. Evaluación de préstamos: Evaluar los riesgos de crédito y las garantías



7. Evaluación de préstamos: Ajustar el plan de reembolso al flujo de caja

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

La financiación del riego con energía solar puede ser una oportunidad para las instituciones financieras que busquen diversificar su cartera de préstamos y ampliar su gama de productos financieros. El módulo **INVIERTE** se centra en las características de productos financieros destinados a la financiación de SPIS, poniendo énfasis en la financiación directa otorgada por una institución financiera a prestatarios y prestatarias finales de pequeñas y medianas explotaciones agrícolas. El módulo señala también en qué se diferencian la financiación de SPIS y la de sistemas de riego convencionales, proporcionando orientación a los proveedores de servicios financieros que ya están financiando o proyectan financiar SPIS. Así, este módulo está dirigido a dos grupos:

1. las partes interesadas a **nivel de dirección** que deciden las políticas de crédito de un proveedor de servicios financieros, y
2. los y las ejecutivos **de crédito** que evalúan solicitudes individuales de préstamos para la financiación de SPIS.

PASOS DEL PROCESO

Tres de los pasos desarrollados en el módulo **INVIERTE** están destinados a apoyar el proceso de definición de la política crediticia de los proveedores de servicios financieros a **nivel de dirección**: El primero está dedicado al análisis del potencial del segmento de mercado de SPIS; el segundo, a la determinación de los riesgos generales de las operaciones de crédito en este sector; y el tercero, al diseño y el ensayo de instrumentos financieros adecuados.

Para el proceso específico de evaluación de préstamos individuales a **nivel operativo** se elaboran tres pasos principales: el primero está dedicado a la determinación del volumen de la financiación y el cálculo de la rentabilidad de la inversión; el segundo, a la evaluación de los riesgos de crédito y las garantías del potencial prestatario o la potencial prestataria; y el tercero, a la determinación del flujo de caja y el plan de amortización de la deuda para cada cliente individual, así como de las condiciones del préstamo.

1. HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA LA TOMA DE DECISIONES

Generalmente, antes de tomar una decisión de inversión se debe evaluar la viabilidad de la inversión. Este proceso de diligencia debida minimiza el riesgo de perder fondos destinados a la inversión. En esencia, esto significa que, si yo invierto mi capital, ¿voy a ver incrementado mi capital o, al menos, evitar la pérdida de capital?

Un sistema de riego con energía solar (SPIS) es, por norma general, una decisión de inversión a largo plazo para reducir los gastos de operación de la explotación o aumentar la productividad agrícola. En el mejor de los casos, es ambas cosas. Esto implica entender la empresa agrícola como un negocio por lo que se refiere a todos los costos e ingresos. La herramienta **INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico**, incluida en esta caja de herramientas sobre SPIS, permite realizar una evaluación de la rentabilidad de la producción agrícola de la granja. A este respecto, proporciona hojas de introducción de datos para ingresar diferentes gastos e ingresos de la explotación y calcula automáticamente su margen de beneficios. Asimismo, pone de relieve qué costos fijos y variables son los más importantes y en qué casos se podrían lograr ahorros significativos. La herramienta **INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico** genera una cuenta de resultados de la explotación agrícola que puede presentarse a una institución de crédito.

La herramienta **INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico** resulta útil para:

- Determinar el nivel actual de rentabilidad (base de referencia antes de la inversión)
- Determinar la rentabilidad previsible de la inversión (proyección posterior a la inversión)

No obstante, que se confirme la rentabilidad de la explotación agrícola, no implica automáticamente que invertir en un SPIS sea la opción más sensata. Esto ocurre especialmente si existen otras tecnologías de bombeo fácilmente disponibles en el mercado. Una bomba diésel o conectada a la red puede resultar más factible si el bombeo de agua solamente se necesita durante un período limitado al año. La herramienta **INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización** considera y compara otras tecnologías de bombeo. Los datos básicos se obtienen de los proveedores tecnológicos y el periodo de recuperación sobre el beneficio de la explotación y las diferentes tecnologías se calcula automáticamente.

RESULTADO / PRODUCTO

- Evaluación de la rentabilidad antes y después de la inversión;
- determinación de la opción de tecnología de bombeo más viable en términos financieros.

DATOS REQUERIDOS

- Gastos e ingresos actuales de la explotación;
- gastos e ingresos previstos de la explotación;
- gastos de capital (GC) para diferentes tecnologías de bombeo;
- gastos de operación (GO) de diferentes tecnologías de bombeo;
- tasas de interés de las instituciones de crédito;
- tasas de inflación y de incremento del precio del combustible.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Proveedores de servicios financieros;

- asociaciones de productores y productoras/potenciales prestatarios y prestatarias;
- proveedores de tecnología.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Una reevaluación anual de la rentabilidad de la explotación permite hacer un seguimiento de las mejoras, así como identificar los riesgos de forma oportuna y reconocer futuras oportunidades de inversión.

2. POLÍTICA CREDITICIA: ANALIZAR EL POTENCIAL

Actualmente, el riego con energía solar se presenta como una opción técnicamente madura y confiable y como alternativa a los enfoques de riego convencionales. Cuando se analizan opciones para el desarrollo de políticas crediticias en relación con SPIS, se deben considerar los siguientes aspectos:

Los SPIS probablemente sean una opción viable en una región determinada si se dan las siguientes condiciones:

- el suministro de energía para la agricultura constituye una limitación (disponibilidad o costo del combustible, confiabilidad de la conexión a la red);
- se proyecta intensificar la producción agrícola;
- los productores y productoras están orientados al mercado y no trabajan a nivel de subsistencia;
- los productores y productoras son como mínimo de mediana categoría o están organizados en grupos de pequeños agricultores y pequeñas agricultoras;
- existen opciones de refinanciación subsidiadas para operadores financieros;
- existen regímenes de subvenciones o subsidios para los prestatarios y prestatarias (productores y productoras);
- los productores y productoras apuntan a mercados especializados utilizando tecnologías respetuosas con el medio ambiente (centrándose en la producción ecológica, que permite fijar precios especiales);
- existen en la región distribuidores de tecnología e integradores de sistemas;
- se dispone de agua, y existe una gestión adecuada de los recursos

hídricos para prevenir el agotamiento de las aguas subterráneas a largo plazo.

No obstante, en comparación con los métodos de bombeo y riego convencionales, las soluciones de bombeo basadas en energía fotovoltaica:

- requieren una inversión de capital inicial comparativamente elevada;
- tienen plazos de reembolso más prolongados y/o cuotas de reembolso considerablemente más elevadas;
- tienen mayores riesgos de crédito.

RESULTADO / PRODUCTO

- Estudio sobre el potencial de la financiación de SPIS y recomendaciones a los proveedores de servicios financieros.

DATOS REQUERIDOS

- Perfil de los clientes y clientas finales (pautas de cultivo, técnicas de riego, sistemas de bombeo, mercado);
- actual oferta de productos crediticios disponibles para potenciales clientes y clientas de SPIS;
- régimen del suministro de agua y energía en la región;
- estructuras de apoyo/asesoramiento y esquemas de subsidios (refinanciamiento) disponibles en la región;
- evaluación del impacto ambiental (perspectiva a largo plazo).

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Directivos y directivas de entidades proveedoras de servicios financieros;
- analistas/consultores y consultoras de mercado.
- instituciones de investigación y capacitación;
- entidades públicas que promueven y/o subsidian iniciativas de SPIS;
- donantes que refinancian iniciativas de energía solar;
- asociaciones de productores y productoras/potenciales prestatarios y prestatarias;
- proveedores de tecnología y servicios.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La tecnología de riego con energía solar ha madurado, es confiable y el costo de los sistemas ha disminuido.
- Los SPIS requieren por lo general mayores costos de inversión que otros sistemas de riego, pero sus costos de operación son menores.

3. POLÍTICA CREDITICIA: ANÁLISIS DE RIESGOS

Los sistemas de riego con energía solar requieren soluciones específicas, puesto que surgen de la combinación de una nueva tecnología de generación de energía y sistemas de riego y de cultivo y pueden asumir múltiples configuraciones.

No existe, pues, una solución estándar, por lo que es indispensable realizar un análisis minucioso de cada préstamo, sobre todo cuando se trata de primeras experiencias con este tipo de préstamos.

Entre las **ventajas financieras** típicas que pueden obtenerse con el cambio a sistemas de riego con energía solar se cuentan:

- mayor rentabilidad cuando se introducen cultivos de alto valor, y mayor grado de eficiencia del riego;
- reducción a niveles estables de los costos actuales de energía (eliminación de los costos y riesgos de transporte relacionados con el abastecimiento de combustibles o lubricantes);
- la utilización de tecnologías compatibles con el medio ambiente (para evitar pérdidas de agua, reducir el consumo de agua, prevenir la contaminación con gasóleo, etc.) puede facilitar el acceso a fondos de ayuda o subvenciones.

Como están basados en actividades agrícolas, los SPIS siguen pautas de liquidez específicas, tales como las marcadas por:

- irregularidad, estacionalidad;
- entrelazamiento de la economía de la explotación y la economía familiar;
- varias actividades generadoras de efectivo;

- riesgos del sistema (clima, condiciones meteorológicas, plagas, enfermedades, precios).

Ello hace necesario desarrollar instrumentos de crédito agrario específicos teniendo en cuenta los siguientes riesgos:

Riesgos financieros

- La inversión de montos elevados de capital inicial trae consigo mayores riesgos de crédito e implica plazos de reembolso más prolongados y tasas de interés más elevadas para los clientes y clientas que los que se aplican a proyectos basados en otras fuentes de energía;
- la financiación de la agricultura en general implica riesgos específicos.

Riesgos tecnológicos (para más detalles, v. los módulos siguientes **DISEÑA, MONTAJE, MANTENIMIENTO**).

- Se requieren cultivos de alto valor y tecnologías de riego que reducen el consumo de agua;
- las bombas deben tener una capacidad mayor de lo normal para poder satisfacer las demandas pico de agua;
- se debe contar con las capacidades de gestión necesarias para manejar la tecnología;
- las horas de operación diarias están limitadas;
- para ser viables, las dimensiones del generador fotovoltaico y de la bomba deben adecuarse a una presión de salida baja;
- aptitud del lugar de emplazamiento del SPIS;
- riesgo de construcción;

- el uso de agua en exceso pone en peligro a largo plazo el cultivo de las tierras y el medio ambiente.

Riesgos relacionados con las condiciones marco

- Son factores indispensables la disponibilidad de agua a largo plazo y una buena gestión de las aguas subterráneas; (v. módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**)
- personas involucradas – ejecutivos de crédito, productores y productoras, (¡cuestiones de género!), proveedores de tecnología y servicios, asesores y asesoras agrícolas;
- robo o mal uso.

RESULTADO / PRODUCTO

- Política de riesgo de crédito que tiene en cuenta la evaluación completa de cada caso individual, una gestión adecuada de la cartera de créditos y la superación proactiva del déficit de información.

DATOS REQUERIDOS

- Aspectos específicos de las pautas de liquidez de los prestatarios y prestatarias que tienen relevancia para la concesión de créditos agrarios;
- estructura de activos de los prestatarios y prestatarias (capacidad para ofrecer garantía);
- pautas de cultivo y rentabilidad de los tipos de cultivo (mercados alternativos y disponibilidad de agua);
- confiabilidad de la organización y la gestión (v. módulo **MANTENIMIENTO**);
- riesgos tecnológicos (v. módulo **DISEÑA**);
- opciones de refinanciación disponibles en la región.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Directivos y directivas de entidades proveedoras de servicios financieros;
- entidades públicas que promueven y/o subsidian iniciativas de SPIS;
- asociaciones de productores y productoras/potenciales prestatarios y prestatarias;
- analistas/consultores de mercado.
- proveedores de tecnología;
- proveedores de servicios;
- instituciones de investigación y capacitación (p. ej., agencia de medioambiente).

ASUNTOS IMPORTANTES

- Considerar los riesgos específicos de los SPIS en relación con sus necesidades de financiación a largo plazo, sus implicaciones tecnológicas (v. módulo **DISEÑA**), el impacto ambiental (v. módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**) y las condiciones marco.
- Los SPIS se presentan en diversas configuraciones, no existe un modelo único de análisis de préstamos.
- Minimizar los riesgos puede acarrear costos de transacción (más) elevados para todos los involucrados en comparación con los sistemas de bombeo tradicionales.



SPIS en la India

(Fuente: Lennart Woltering)

4. POLÍTICA CREDITICIA: SELECCIONAR / DESARROLLAR INSTRUMENTOS FINANCIEROS ADECUADOS

A la hora de seleccionar o desarrollar un producto de préstamo para SPIS, es importante plantearse las siguientes preguntas:

- **¿Para quién?** Productores y productoras orientados al mercado, no para productores y productoras de subsistencia; posible para grupos de productores y productoras;
- **¿Para qué?** Financiación de un sistema de generación de energía y bombeo utilizado para riego; tecnología economizadora de energía y/o agua;
- **¿Cuánto?** Establecer el rango del monto del préstamo; % de contribución propia del productor o productora; % de subsidio;
- **¿Cuándo?** Rango del plazo de préstamo (años); frecuencia de reembolso (meses); desembolso por tramos;
- **¿Tasa de interés?** De x % anual a x % anual (rango);
- **¿Garantía?** Equipos, hipotecas, garantía adicional (sistema de avales), garantía no tradicional (futura cosecha, bodegas), sistema de arrendamiento financiero con proveedores de equipos.

Generalmente, los productos de préstamo para la financiación de SPIS:

- suponen montos de inversión inicial más elevados, que por consiguiente tienen plazos de reembolso más prolongados y/o cuotas de pago elevadas;
- requieren sistemas de avales alternativos/garantías no convencionales;
- pagan tasas de interés más elevadas por tener mayores

riesgos de crédito y un periodo de inversión prolongado;

- se centran en clientes y clientas innovadores, que suelen invertir en cultivos de (más) alto valor;
- deberían orientarse estrictamente por la disponibilidad de agua y las necesidades específicas de la explotación;
- no utilizan un modelo o prototipo; ¡cada granja/empresa es única!

A fin de **evitar costos de transacción prohibitivos de los préstamos**, considerar:

- fondos de garantía con apoyo público o seguros;
- sistemas de arrendamiento financiero con proveedores de sistemas de bombeo y otros proveedores;
- enfoques de financiación grupal para grupos de productores y productoras;
- subsidios públicos y patrocinio;
- opciones de refinanciación favorables para la institución financiera (p. ej., tasas de interés subsidiadas ofrecidas por donantes/entidades públicas).

A fin de **superar el déficit de información** en relación con la nueva tecnología, emprender actividades adicionales tales como:

- alentar a los (potenciales) clientes y clientas a informarse y buscar asesoramiento técnico;
- capacitar y sensibilizar al personal de préstamos respecto de los aspectos básicos de la tecnología;
- seguir de cerca el desempeño de la cartera de préstamos;

- diálogo continuo con el sector de la energía solar.

Nota: Los clientes y clientas de SPIS podrían convertirse en futuros clientes y clientas de otros productos financieros (ventas cruzadas).



Sistema de riego automatizado en Marruecos – subsidiado en gran parte por el Estado

(Fuente: Lennart Woltering)

RESULTADO / PRODUCTO

- **Directrices y procedimientos:** incluidas pautas para la evaluación y la toma de decisiones, indicadores clave de desempeño (ICD) para los objetivos.

DATOS REQUERIDOS

- Pautas de liquidez comparables de clientes de la cartera agrícola.

Calcular, preparar

- plan de reembolso (con diferentes tasas de interés, plazos de reembolso y frecuencias de reembolso);
- márgenes de rentabilidad por cultivos y tamaños de las explotaciones;
- tablas para la evaluación de tipos de garantía;
- lista de cultivos elegibles;
- lista de sistemas de riego elegibles y costo medio de inversión por componente;
- lista de configuraciones de SPIS elegibles y costo medio de

inversión por componente (v. **DISEÑA** e **INFORMATE**);

- lista de tipos de garantía elegibles.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Nivel directivo de entidades proveedoras de servicios financieros;
- personal de crédito experimentado (nivel superior, financiación agrícola);
- asociaciones de productores y productoras/potenciales prestatarios y prestatarias;
- servicios de extensión agrícola;
- institutos de investigación y capacitación (p. ej., agencias de medio ambiente);
- proveedores de servicios, tecnologías e insumos.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Evitar costos de transacción prohibitivos para los prestatarios y prestatarias;
- superar el déficit de información de los operadores financieros;

- tener en cuenta que el potencial de estandarización es limitado;
- seleccionar para este segmento colaboradores y colaboradoras excelentes del ámbito de los créditos que cuenten con la formación y la experiencia correspondientes (¡capacitarlos!).

5. EVALUACIÓN DE PRÉSTAMOS: DETERMINAR EL VOLUMEN Y LA RENTABILIDAD DE LA FINANCIACIÓN

Los pasos anteriores del proceso se han centrado en los y las responsables políticos, mientras que los próximos pondrán énfasis en los ejecutivos o agentes de crédito que evalúan las solicitudes individuales de crédito para la financiación de SPIS.

Los y las ejecutivos/ejecutivas de crédito prefieren por lo general utilizar las herramientas proporcionadas por su institución, aunque también les sería útil servirse de las herramientas **INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico** e **INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización**, dado que éstas están diseñadas específicamente para SPIS y pueden proporcionar una primera estimación de la viabilidad. De hecho, estas herramientas pueden ofrecerse también a los prestatarios y prestatarias/los y las solicitantes de préstamos al objeto de que verifiquen sus propios supuestos.

Nota: Los costos de transacción para la evaluación de préstamos pueden resultar elevados, sobre todo cuando la tecnología no deja mucho margen para la estandarización. El hecho de utilizar herramientas específicas y alentar a los y las solicitantes de crédito a recurrir a las mismas, puede minimizar los esfuerzos innecesarios.

RESULTADO / PRODUCTO

- Análisis de la rentabilidad de la inversión (y alternativas);
- análisis de flujo de caja;
- proyecciones financieras de los costos de inversión (gastos de capital [GC]) (y alternativas).

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Ejecutivos de crédito que financian o proyectan financiar SPIS;

- productor(es) o productora(s)/ potencial(es) prestatario(s) o prestataria(s);
- ejecutivos y ejecutivas de entidades proveedoras de servicios financieros (nivel operativo);
- servicios de extensión agrícola y agencias de promoción (p. ej., en lo que respecta a subsidios);
- proveedores de servicios, tecnología e insumos;
- institutos de investigación y capacitación.

DATOS REQUERIDOS

Investigar, recoger, analizar, comprobar

- precios de componentes a financiar;
- pautas de cultivo y precios de cultivos (fluctuaciones, tendencias);
- costos de operación y mantenimiento y precios de los insumos (incluidas otras opciones);
- ingresos por ventas;
- finalidad y montos de las ayudas otorgadas como subsidios y/o a través de patrocinadores o patrocinadoras;
- variables macroeconómicas (inflación, tasas de interés, etc.);
- políticas fiscales (impuesto de sociedades, dinámica del IVA, etc.).

Calcular, preparar

- costo unitario del agua;
- ingresos anuales y gastos de operación (GO) --> Margen bruto

- anual de la producción (actual y futuro);
- Gastos de capital (GC); esto es, importe anual/total para la financiación de la inversión en SPIS (y en un sistema alternativo);
 - estimaciones de flujo de caja (actual, futuro, con fuente de energía alternativa);
 - costos del ciclo de vida de la inversión en SPIS;
 - plazo de reembolso (PR), valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) de la inversión en SPIS.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Comparar soluciones de energía fotovoltaica con otras soluciones de bombeo, y estudiar la rentabilidad variable de diferentes SPIS (cultivos, tamaño).
- Trabajar con colaboradores y colaboradoras excelentes del ámbito de los créditos.

6. EVALUACIÓN DE PRÉSTAMOS: EVALUAR LOS RIESGOS DE CRÉDITO Y LAS GARANTÍAS

Aparte de los riesgos de crédito “normales” que se aplican a los préstamos agrícolas, tales como las variaciones relacionadas con perturbaciones externas y la irregularidad de los flujos de caja debida a la estacionalidad, la financiación de SPIS trae consigo otros desafíos adicionales. Estos se relacionan principalmente con riesgos tecnológicos o con riesgos derivados de la operación y el mantenimiento. También los elevados costos iniciales de inversión vienen a aumentar el riesgo financiero global. Finalmente, otro problema puede ser el sobredimensionamiento del sistema de bombeo.

A la hora de **valorar los activos que pueden servir de garantía**, la visión debería ampliarse para incluir en el examen no sólo la inversión concreta que se pretende realizar, sino la explotación en su totalidad y la situación global de la unidad familiar. Se debe alentar al prestatario o prestataria a contribuir con capital propio, y los operadores financieros deben estar más abiertos a aceptar garantías alternativas. Los paneles fotovoltaicos pueden utilizarse como garantía, de existir un mercado de paneles de segunda mano.

Dado que la energía solar se considera una **tecnología respetuosa con el medio ambiente, siempre que el agua se utilice de forma adecuada** (módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**), es posible que existan sistemas externos de avales y subsidios financiados con fondos públicos o por donantes, a los que pueden recurrir los productores y productoras. Estas oportunidades deben explorarse y evaluarse de forma activa.

RESULTADO / PRODUCTO

- Balance de la granja/familia;
- valor total de la garantía y/o tipos de avales;

- análisis de riesgos generales.

DATOS REQUERIDOS

Investigar, recoger, analizar

- mercado de los cultivos, insumos, etc. respectivos;
- disponibilidad de opciones/oportunidades de avales de riesgo o seguros.

Calcular, preparar

- valoración de los activos y pasivos de la granja (y la familia);
- aporte (de capital) propio del prestatario o prestataria;
- examen de la garantía y/o sistemas de avales;
- evaluación de la tecnología y los riesgos de operación y mantenimiento (**DISEÑA, MONTAJE, MANTENIMIENTO**).

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Oficiales de crédito que financian o proyectan financiar SPIS;
- productor(es) o productora(s)/ potencial(es) prestatario(s) o prestataria(s);
- ejecutivos y ejecutivas de entidades proveedoras de servicios financieros (nivel operativo);
- entidades públicas que promueven y/o subsidian iniciativas de SPIS;
- patrocinadores y patrocinadoras.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Buscar tipos de garantía alternativos (p. ej., sistemas de avales) y evaluar si los paneles fotovoltaicos pueden servir de garantía.

- Minimizar el riesgo de robo o daño de la garantía (p. ej., vallado de los paneles, guardias, seguro).

7. EVALUACIÓN DE PRÉSTAMOS: AJUSTAR EL PLAN DE REEMBOLSO AL FLUJO DE CAJA

Como están basados en actividades agrícolas, los SPIS siguen **pautas de liquidez específicas**, tales como las marcadas por:

- irregularidad, estacionalidad;
- entrelazamiento de la economía de la explotación y la economía familiar;
- varias actividades generadoras de efectivo (agrícolas y no agrícolas);
- perturbaciones externas (clima, meteorología, plagas, enfermedades, precios).

La determinación de las características específicas de los préstamos (programa de desembolsos, cuota de reembolso, garantía, frecuencia de reembolso) debe basarse en las estimaciones del flujo de caja de cada caso particular.

Así, el proceso de análisis de préstamos requiere:

- un conocimiento profundo de la economía de la explotación y la familia;
- una intensa interacción con el potencial prestatario o prestataria;
- interconexión con otras fuentes de información en el sector y la región;
- un conocimiento detallado del mercado y las tendencias del mercado;
- personal excelente con actitudes innovadoras.

Los SPIS requieren **altos costos de inversión inicial**, lo que se puede traducir en:

- plazos de reembolso prolongados (5-10 años);
- la necesidad de una alta rentabilidad de los SPIS;

- la necesidad de un periodo de gracia al inicio del plan de reembolso.

Nota: Los plazos de reembolso muy cortos se traducen en cuotas de amortización elevadas que pueden dar lugar a una peligrosa falta de liquidez, sobre todo en los primeros años.

RESULTADO / PRODUCTO

- Estado de flujo de caja (actual, estimado);
- planes de desembolsos y reembolso confeccionados a medida;
- análisis/ajuste del riesgo financiero;
- análisis de riesgos resumido;
- detalles del préstamo hecho a medida para toma de decisión.

DATOS REQUERIDOS

Recoger, calcular, preparar:

- análisis de la liquidez de la explotación en su totalidad (incluido análisis de la liquidez familiar [actual y estimada con SPIS]);
- aporte de capital propio del prestatario o prestataria;
- potencial de reembolso;
- plan de reembolso;
- detalles del préstamo.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Ejecutivos de crédito que financian o proyectan financiar SPIS;
- productor(es) o productora(s)/ potencial(es) prestatario(s) o prestataria(s);

- ejecutivos y ejecutivas de entidades proveedoras de servicios financieros (nivel operativo);
- entidades públicas que promueven y/o subsidian iniciativas de SPIS;
- patrocinadores y patrocinadoras.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Las pautas de liquidez son específicas y deben determinarse para cada caso individual.
- La recogida de datos es un proceso complicado debido al

entrelazamiento de la economía de la explotación y la economía familiar.

- Lo ideal sería que los altos costos de inversión inicial no diesen lugar a costos de transacción prohibitivos (considerar subsidios de fuentes ajenas al banco).
- Lo ideal sería que los altos costos de inversión inicial no diesen lugar a una falta de liquidez del cliente o clienta por causa de cuotas de pago demasiado elevadas o muy tempranas (mostrar flexibilidad a la hora de definir los planes de pago).



Sistema de riego por goteo con energía solar de una superficie de 0,5 ha, utilizado por un grupo de mujeres de una zona rural del norte de Benín para la producción de lechuga y otras verduras.

(Fuente: Lennart Woltering)

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Enlaces

- Agriculture Finance Support Facility (AGRIFIN). Recuperado de <https://www.agrifinfacility.org/>
- Making Finance works for Africa (2017): Agricultural & Rural Finance. Recuperado de <http://www.mfw4a.org/agricultural-rural-finance/agricultural-rural-finance.html>
- Microfinance Gateway (2014): Highlighting noteworthy publications and key resources on rural and agricultural finance. En: *Gateway Guide to Rural and Agricultural Finance*. Recuperado de <http://www.microfinancegateway.org/library/gateway-guide-rural-and-agricultural-finance>

Publicaciones/documentos

- AFRACO, FAO, the Land Bank of South Africa and the World Bank (2009): Expert Meeting in Managing Risk in Financing Agriculture. Johannesburgo, Sudáfrica. Recuperado de http://siteresources.worldbank.org/EXTARD/Resources/336681-1252501755087/Joburg_proceedings.pdf
- Bandyopadhyay, A. (2007): Credit Risk Models for Managing Bank's Agricultural Loan Portfolio. Pune, India. En: *Munich Personal RePEc Archive* (MPRA) 5357. Recuperado de https://mpra.ub.uni-muenchen.de/5357/1/MPRA_paper_5357.pdf
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (2011): Agricultural Finance – Trends, Issues and Challenges. Recuperado de http://www.ruralfinanceandinvestment.org/sites/default/files/06_giz2011-0460en-agricultural-finance.pdf
- Corporación Financiera Internacional (CFI) (2011): Scaling Up Access to Finance for Agricultural SMEs Policy Review and Recommendations. Washington D.C., EE. UU. Recuperado de https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/04da89804a02e2e19ce0fdd1a5d13d27/G20_Agri_finance_Report.pdf?MOD=AJPERES
- Corporación Financiera Internacional (CFI) (2012): Innovative Agricultural SME Finance Models. Washington D.C., EE. UU. Recuperado de <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/55301b804ebc5f379f86bf45b400a808/Innovative+Agricultural+SME+Fi-%20nance+Models.pdf?MOD=AJPERES>
- Mees, M. & Destrait, F. (2015): Guarantee Funds: A Response to Agricultural Credit Risk – The Latin American Guarantee Fund. SOS Faim Belgium. En: *Zoom Microfinance 44*. Recuperado de <https://www.microfinancegateway.org/library/guarantee-funds-response-agricultural-credit-risk-%E2%80%93-latin-american-guarantee-fund>
- Prasoon, P. K., Pareek, A., Natu, A. J., Ledesma, J. & Barman, N. D. (2014): Resource Book on Designing & Delivering Agriculture Financing Products. Recuperado de http://www.microsave.net/files/pdf/Designing_Delivering_Agriculture_Financing_Products.pdf
- SOS Faim (2013): Developing rural finance through public-private sector cooperation. En: *Zoom Microfinance 40*. Recuperado de <https://www.sosfaim.lu/en/publication/developing-rural-finance-through-public-private-sector-cooperation/>

Herramientas

INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico: para calcular la rentabilidad general de la granja agrícola y determinar el monto de los costos variables y fijos

INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización: para calcular la viabilidad financiera de un SPIS y compararla con la de otros sistemas de bombeo alternativos (petróleo y electricidad de la red)

Otras herramientas pertinentes:

PROMUEVE – Herramienta de evaluación rápida de SPIS: incluye un análisis del mercado (financiero) para la financiación de componentes de SPIS

GLOSARIO FINANCIERO

Acreeedores	Persona, física o jurídica, que legítimamente está autorizada para exigir el pago o cumplimiento de una obligación contraída con anterioridad.
Activos	Posición del balance que representa lo que es propiedad de una empresa.
Activos corrientes	Efectivo y otros activos que pueden convertirse en dinero o consumirse en el ciclo normal de operaciones de la empresa.
Activos fijos	Activos adquiridos para su utilización duradera y uso físico en la empresa (maquinaria, edificios, equipos de oficina, automóviles, etc.).
Cálculo de costos del ciclo de vida	Técnica de evaluación del costo total de propiedad a efectos de comparación con diferentes alternativas.
Capital circulante neto	Activos corrientes menos pasivos corrientes.
Compras de materias primas	Costos para la compra de materia prima.
Costos fijos	Costos que no varían con el nivel de producción.
Costos variables	Costos que varían directamente con el nivel de producción.
Depreciación	Costo imputado a los activos fijos para su reemplazo. Nota: La “depreciación” es uno de los pocos gastos que no lleva asociado un flujo de salida de caja.
Deudores	Cuentas por cobrar por ventas a crédito anteriores.
Entradas de efectivo	Todas las entradas de efectivo registradas durante un periodo determinado (p. ej., por ventas).
Flujo de caja	Entradas y salidas de efectivo de una empresa. Las salidas de efectivo se consideran como flujos de caja negativos, y las entradas de efectivo como flujos de caja positivos.
Garantía	Propiedades u otros bienes que un prestatario ofrece a un prestamista como garantía para un préstamo.
Gastos	Pagos en efectivo o su equivalente por bienes o servicios recibidos. Costo de los recursos utilizados o consumidos por las actividades de la empresa.
Gastos de capital	Son gastos que se efectúan solo una vez. Representan normalmente inversiones a largo plazo en elementos no fungibles del negocio; por ejemplo, el dinero que se gasta en una bomba, en paneles, en máquinas, etc.
Gastos operativos o de funcionamiento	Costos corrientes relacionados con el funcionamiento y mantenimiento de una empresa. Son los gastos, clasificados en “fijos” y “variables”, relacionados con la actividad productiva de la empresa.

Inflación	Tasa de aumento generalizado de los precios de bienes y servicios y, en consecuencia, de disminución del poder adquisitivo de la moneda.
Ingreso	Ingreso es el dinero generado por las actividades de la empresa.
Inversiones fijas	Inversiones realizadas en activos fijos (p. ej., maquinaria).
Margen bruto	Ingreso bruto menos gastos brutos.
Pasivos	Derechos de los acreedores sobre los activos de una empresa.
Periodo de recuperación	Periodo de tiempo requerido para recuperar el costo de una inversión.
Rentabilidad	Ingresos menos gastos. Se desprende de la “cuenta de resultados” (o de “pérdidas y ganancias”), que refleja los ingresos, los gastos y la utilidad neta de una empresa durante un periodo de tiempo.
Salidas de efectivo	Efectivo saliente, todos los pagos en efectivo realizados durante un periodo determinado (p. ej., por la compra de insumos de producción, cuotas de préstamos, compra de equipos).
Stock de productos terminados	Inventario de productos acabados listos para la venta.
Stock de materiales	Inventario de todas las materias primas aún no utilizadas en la producción.
Tasa interna de retorno o de rentabilidad (TIR)	Expresa la tasa de descuento a lo largo del periodo de vida de una inversión de capital; esto es, la tasa de rendimiento generada por una inversión (un monto) durante su periodo de vida. Calculando la TIR de un proyecto, se puede responder a la pregunta de si el dinero está bien invertido, o si hay alternativas de inversión menos riesgosas que a la larga podrían ser más rentables; por ejemplo, depósito bancario con devengo de intereses.
Valor actual neto (VAN)	Determina el valor actual de una inversión descontando los flujos de caja positivos y negativos generados por la inversión a lo largo de su periodo de vida. Para la determinación del VAN, es necesario definir el periodo de vida previsto de la inversión, así como un factor de descuento que podría aproximarse a la tasa de interés aplicada a los depósitos. El VAN también puede utilizarse para comparar opciones de inversión alternativas.
Ventas a crédito	Ventas realizadas sin recibir dinero a cambio.
Ventas netas	Son los ingresos de una empresa procedentes típicamente de la venta de bienes/productos o servicios.
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. El VAN y la TIR son los criterios de decisión más comúnmente utilizados en el análisis de costo-beneficio.

ANEXO – COLECCIÓN DE FÓRMULAS (FINANZAS)

FLUJO DE CAJA MEDIO*

**Definición: El “flujo de caja” son las entradas y salidas de efectivo de una empresa. Los gastos (costos) se consideran como flujos de caja negativos, y los ingresos como flujos de caja positivos.*

Fórmula: (ingresos [Ing] – gastos operativos [C]) = Cf = flujo de caja

PERIODO DE RECUPERACIÓN* (PR)

**Definición: El periodo de recuperación es el periodo de tiempo requerido para recuperar el costo de una inversión.*

Fórmula: I/(Ing-C) = PR = periodo de recuperación

I = inversión inicial (gasto de capital)

C = gastos operativos medios anuales, excluyendo depreciación

Ing = ingreso medio anual

(Ing - C) = Cf = flujo de caja

VALOR ACTUAL NETO* (VAN)

**Definición: El “valor actual neto” o VAN (NPV por sus siglas en inglés) determina el valor actual de una inversión descontando los flujos de caja positivos y negativos generados por la inversión a lo largo de su periodo de vida. Para la determinación del VAN, es necesario definir el periodo de vida previsto de la inversión, así como un factor de descuento que podría aproximarse a la tasa de interés aplicada a los depósitos. El VAN también puede utilizarse para comparar opciones de inversión alternativas.*

Fórmula:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{Cf_t}{(1+r)^t} - I_0 + S$$

r = factor de descuento

S= valor residual (o de salvamento)

I= gasto de inversión inicial

t= años contando a partir del año base

n= periodo de vida del proyecto (paneles, etc.)

TASA INTERNA DE RETORNO* (TIR)

**Definición: “La tasa interna de retorno” o TIR expresa la tasa de descuento a lo largo del periodo de vida de una inversión de capital; esto es, la tasa de rendimiento generada por una inversión (un monto) durante su periodo de vida. Calculando la TIR de un proyecto, se puede responder a la pregunta de si el dinero está bien invertido, o si hay alternativas de inversión menos riesgosas que a la larga podrían ser más rentables; por ejemplo, depósito bancario con devengo de intereses.*

Fórmula:

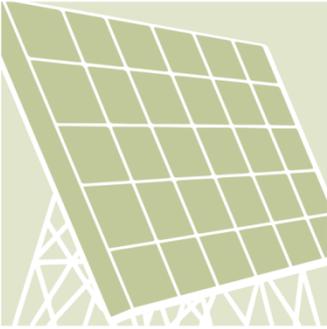
$$NPV = 0, \text{ or}$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{Cf_t}{(1 + IRR)^t} - I_0 + S = 0$$

IRR = TIR

POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 6: Finanzas

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

Descargar

https://energypedia.info/wiki/Toolbox_on_SPIS

Acerca de

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

Versión

1.0 (abril 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.

Implemented by

© GIZ y FAO, 2018

 Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

ABREVIATURAS

EUR	Euro
FI(s)	Entidad(es) financiera(s)
JOYWO	Organización de Mujeres Felices (siglas en inglés para Joyful Women Organization)
KSh	Chelín keniano
MFI(s)	Entidad(es) financiera(s) micro
MNRE	Ministerio de Energías Nuevas y Renovables
NABARD	Banco Nacional de Agricultura y Desarrollo Rural
PAYGO	Pago-sobre-la-marcha
SACCOs	Organización Cooperativa de Ahorros y Créditos
PYMEs	Pequeñas y Medianas Empresas
SPIS(s)	Sistemas de Riego Solar
USD	Dólares estadounidenses

FINANZAS

1. Crédito bancario



2. Préstamos Banco Rural / Banco de Desarrollo



3. Préstamos de entidades financieras micro



4. Préstamos en la cadena de valor



5. Acuerdo de arrendamiento / readquisición



6. Cooperativas / Responsabilidad solidaria



7. Grupos de ahorro informales



8. Modelo de negocio pago-por-uso

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

El módulo **FINANZAS** describe los servicios financieros generales posiblemente disponibles para productores que quieran adoptar un sistema de riego solar (SPIS). El objetivo del módulo es informar a los órganos decisores (gobiernos, entidades financieras, proveedores de tecnología, profesionales del desarrollo, etc.) sobre la opción financiera más adecuada para las necesidades del productor o de la productora teniendo en cuenta sus características específicas.

Si los productores tienen suficiente dinero para adquirir un SPIS sin necesidad de pedir un préstamo, deberán considerar el módulo **INVIERTE**.

La productividad y el rendimiento agrícolas están altamente correlacionados con el estado de desarrollo del sector financiero en un país determinado. Así pues, la financiación del sector agrícola es un impulsor para el crecimiento. Lamentablemente, el acceso limitado a una financiación adecuada es un problema común entre los productores, especialmente en países en desarrollo. Esta falta de fondos agrícolas tiene su origen en la renuencia de entidades financieras a invertir en nuevas tecnologías en el sector agrícola. La razón principal es el riesgo percibido de no obtener un reembolso del préstamo, debido a la gran incertidumbre en el sector relacionados con el precio, la producción, los mercados altamente impredecibles y los riesgos asociados con nuevas tecnologías. Es más, la ubicación remota de algunas explotaciones, la falta de conocimiento sobre el sector agrícola y las políticas inadecuadas, como los requisitos estrictos para avales, limitan el acceso a una financiación agrícola.

Estas dificultades podrían ser superadas con productos financieros innovativos, la adopción de un seguro adecuado, una mayor sensibilización sobre los riesgos específicos del sector agrícola y la expansión de proveedores de servicios financieros agrícolas. Como resultado, la financiación de sistemas de riego solar (SPIS) podría ser vista como oportunidad para las entidades financieras, los proveedores de tecnología y gobiernos, para diversificar su cartera de préstamos, agrandar su gama de productos financieros, y mejorar el desarrollo económico del país.

Este módulo distingue entre dos principales categorías de modelos de financiación: modelos de desarrollo y modelos empresariales. Los modelos de desarrollo son usados mayoritariamente por gobiernos, ONGs e instituciones sin ánimo de lucro cuyo objetivo es mejorar los medios de vida y el desarrollo en general de los productores. Los modelos de desarrollo incluirían normalmente subvenciones, subsidios y programas de infraestructura. Por otro lado, los modelos empresariales son adoptados por bancos y entidades financieras, que además de mejorar el crecimiento económico de un país, persiguen obtener beneficios del crédito cedido. Los modelos empresariales son idóneos en mercados maduros, donde los mecanismos de crédito apropiados son de fácil acceso.

A pesar de que en las áreas rurales los créditos de miembros familiares, vecinos y amigos sean frecuentes, no van a ser tratados en este módulo, ya que no añaden un valor general al mercado.

En este módulo, ocho modelos financieros son descritos y subcategorizados entre modelos de desarrollo y empresariales.

1. CRÉDITO BANCARIO

RESULTADO / PRODUCTO

Un banco comercial se define como una entidad financiera cuya ocupación consiste en ceder créditos y aceptar depósitos. Un banco comercial obtiene sus ingresos a través del interés generado de los créditos cedidos. Así pues, un banco comercial usa el **modelo financiero empresarial**.

Dependiendo de las dimensiones, cuantitativas y temporales, como del propósito del crédito, los bancos ofrecerán diferentes tipos de créditos agrícolas. Lamentablemente, la mayoría de los bancos comerciales no han desarrollado un producto financiero específico para la adquisición de un sistema de riego solar. Consecuentemente, un crédito agrícola estándar deberá ser solicitado.

Para conseguir un crédito de un banco comercial, varios documentos deberán ser firmados por ambas partes. Una **nota** en la cual el prestatario acepta devolver el pago del crédito a un tipo de interés determinado, un **acuerdo de préstamos** que contenga los términos y condiciones del crédito, un **acuerdo de seguridad** que explique qué ocurre con el aval, si el prestatario no consigue reembolsar el préstamo y, finalmente, el **estado financiero**.

Dependiendo de la duración, los créditos pueden ser clasificados en tres categorías: créditos a corto, medio o largo plazo. Normalmente, para la adquisición de equipamiento de granja, se emplean créditos a medio plazo, los cuales pueden ser de entre 1 y 5 años. Ya que el plazo de amortización de un SPIS se extiende entre 2 y 5 años, dependiendo de los ingresos de la explotación y su economía, un crédito a medio plazo es la mejor solución.

Una vez el crédito ha sido adquirido, el interés deberá ser pagado. Puede ser fijo, ajustable o variable. Un interés fijo permanece constante durante el periodo entero del préstamo, el interés ajustable puede ser adaptado, pero solo en

intervalos predefinidos, mientras que el interés variable cambia con las condiciones de mercado.

Los créditos bancarios pueden ser reembolsados mediante pagos constantes fijos o pagos principales fijos. En el primero de los casos, el interés y el pago principal se dividen a partes iguales a lo largo del periodo del préstamo. En el segundo caso, el pago principal se divide a partes iguales y el tipo de interés se calcula cada vez basándose en la cantidad del préstamo que falta por ser reembolsado. En el caso de los pagos principales fijos, el pago inicial es el más alto.

Debido al alto riesgo en el sector agrícola, los tipos de interés de los créditos agrícolas suelen ser altos.

Un ejemplo: en Kenia, el país africano con la mayor inclusión financiera, los tipos de interés entre un 20 y un 30 % (en 2017). El Banco de Equidad de Kenia pide un 18 % de intereses más otro 3 % adicional a la tarifa de aplicación. El banco KCB, en parte en manos del gobierno keniano, carga un 22 % de intereses y otro 2,5 % adicional para la tarifa de aplicación. Además, se requieren dos seguros obligatorios: un seguro crediticio con un tipo de interés de un 2,5 % y un seguro de cosechas con un tipo de interés de un 7 %. En suma, los intereses pueden alcanzar hasta un 30 %.

DATOS REQUERIDOS

Los datos necesarios para finalizar un crédito son los siguientes, para la mayoría de los bancos comerciales:

Datos personales del productor:

- Sexo: De acuerdo con estudios, las mujeres suelen devolver los préstamos tomados con mayor probabilidad que los hombres.
- Edad: algunos bancos solo ofrecen créditos a grupos de edad determinados: entre 22 y 55 años. Además, en muchos países, las

subvenciones para tipos de interés son ofrecidos por personas mayores.

- Estado civil: personas casadas y con hijos suelen devolver los préstamos tomados con mayor probabilidad.
- Documentos de identificación

Información de la explotación:

- Certificados de propiedad: si las tierras están arrendadas, la probabilidad de obtener créditos es menor.
- Historial crediticio: ¿Devolvió el productor los préstamos tomados en el pasado? ¿Es solvente el productor?
- Seguro crediticio (si procede)
- Extracto de cuenta bancaria: para comprobar el flujo de caja y las transacciones del productor.
- Ingresos de agricultura
- Ingresos de otras actividades que no sean agrícolas
- Avaluos: los bancos necesitan una cierta seguridad en caso de que el productor o la productora no sea capaz de devolver el pago.

seguro para el banco, salvaguardando a este en caso de que la actividad agrícola no sea beneficiosa.

Desafortunadamente, la bomba solar no es considerada aval por sí misma, ya que los bancos carecen de información sobre este producto. Así pues, las entidades financieras, que normalmente confían en datos internos, no tienen expertos que puedan evaluar el riesgo del crédito. Para hacer uso de una bomba solar como aval, un analista financiero deberá conocer el precio inicial, la vida útil y la tasa de depreciación del producto, con el fin de ser capaz de determinar su valor de recuperación. Es más, es necesario conocer las condiciones óptimas de uso, la existencia de un mercado de segunda mano y el riesgo de robo. Los bancos necesitan este tipo de información para protegerse de situaciones inconvenientes, que puedan acabar en pérdidas de dinero. Si, por ejemplo, el sistema es robado o la bomba fuera posicionada en un área de alta salinidad y se estropeara, es poco probable que el productor vaya a continuar reembolsando el crédito y el banco acabe con un crédito no pagado y un aval sin valor.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Bancos comerciales
- Expertos financieros / analistas de riesgos
- Productores

ASUNTOS IMPORTANTES

Generalmente, los grandes productores y productoras tienen mayor posibilidad de obtener créditos de los bancos mayores; al contrario, los pequeños productores y productoras tendrán más posibilidades con entidades financieras pequeñas. Los pequeños productores y productoras con medios financieros reducidos y un acceso limitado al mercado y a los clientes, tendrán dificultades a la hora de obtener créditos de un banco comercial. Avaluos fuentes alternativas de ingresos actúan como un

2. PRÉSTAMOS BANCO RURAL / BANCO DE DESARROLLO

RESULTADO / PRODUCTO

Los bancos de desarrollo, que también reciben el nombre de bancos de desarrollo rural, son entidades financieras que operan a nivel regional y ofrecen servicios financieros con tasas de interés relativamente bajas, términos de reembolso flexibles, amortización de préstamos y apoyo técnico y de marketing para los actores involucrados en la cadena de valor alimenticia. El principal objetivo de un banco rural es el desarrollo de áreas rurales en lo que se refiere al estándar de vida, seguridad alimenticia, y sostenibilidad de la producción agrícola a través de la inclusión económica de PYMEs. Esto implica que los bancos rurales hagan uso de modelos financieros sustancialmente más centrados en el desarrollo que sus equivalentes convencionales.

Los bancos de desarrollo rural son capaces de ofrecer condiciones convenientes porque colaboran con gobiernos, ONGs y empresas privadas, que los apoyan económicamente. Esta cooperación estratégica impone límites a las actividades financieras, ya que los productores necesitan cumplir con los requisitos específicos de los donantes. Por ejemplo, solo algunas cadenas de valor alimenticias específicas, consideradas relevantes para el desarrollo del país, serán subvencionadas por el gobierno. Y las empresas privadas solo financiarán a productores que estén dispuestos a firmar contratos comerciales con ellas.

Le principal debilidad de los bancos rurales es el mayor riesgo operacional, la capacidad de ganancias reducida y la competitividad de entidades financieras menores como MFIs. Normalmente, los bancos rurales solo financian una parte de la inversión (en torno al 75 %), obligando a los productores a poseer capital inicial. Las tasas de interés son mucho menores que aquellas impuestas por bancos

comerciales. Por ejemplo, la tasa de interés impuesta por el Banco Agrícola de Ghana varía entre el 4 y el 8,5 %.

Un ejemplo de programa gubernamental es el esquema de subvenciones para sistemas FV solares lanzado por el gobierno indio, apoyado por el Banco Nacional para Agricultura y Desarrollo Rural (NABARD, siglas en inglés) con un descuento del 40 %. Del 60 % restante, el 20 % son contribuciones beneficiarias y el 40 % puede ser seleccionado para un crédito suave, el cual normalmente podrá ser reembolsado en 5 años al tipo de interés específico del banco en cuestión.

DATOS REQUERIDOS

La información necesaria para finalizar el crédito con un banco rural o de desarrollo son casi idénticos a los requeridos por un banco comercial. Además, las consideraciones ambientales y sociales también juegan un papel importante:

- Datos personales del productor: igual que aquellos requeridos por los bancos comerciales.
- Información sobre la explotación: igual que aquella requerida por los bancos comerciales.
- En algunos casos, los productores deberán pagar un depósito con el fin de asegurar su crédito.
- Una cuenta bancaria en un banco rural o en otra entidad financiera será necesaria para comprobar el flujo de efectivos y las transacciones del productor.
- Avaluos o fuentes alternativas de ingresos deberán ser presentados para asegurar la inversión: en el marco de algunos programas de desarrollo los productores solo deberán presentar fianzas blandas, o en algunos casos los donantes contribuyentes podrán

servir de garantes para los mismos.

- Prueba de identidad: normalmente, solo los ciudadanos de un país determinado pueden obtener subvenciones del estado.
- Seguro crediticio: en algunos proyectos de desarrollo son cedidos por los donantes.
- Presentación de un plan de negocios: los bancos deben verificar si el plan de negocios del productor reúne los requisitos impuestos por los donantes o por los fundamentos del esquema de subvenciones.
- La viabilidad medioambiental y social del proyecto deberán ser verificadas.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Banco rural/de desarrollo
- Gobiernos/ONGs/Empresas privadas
- Productores y productoras

3. CRÉDITOS DE ENTIDADES FINANCIERAS MICRO

RESULTADO / PRODUCTO

Las entidades financieras micro (MFIs) son organizaciones que posibilitan la inclusión financiera de clases pobres de la población (excluyendo a los más pobres). Hay innumerables tipos de organizaciones que actúan como MFIs: bancos comerciales y de desarrollo, grupos de ahorros, cooperativas y ONGs sin ánimo de lucro. Estas entidades pueden conceder microcréditos bajo condiciones favorables a los pobres de las zonas rurales y urbanas. Las MFIs son consideradas la mejor manera de reducir la pobreza y de mejorar el desarrollo; por ello, la mayoría opta por llevar el **modelo financiero de desarrollo**.

Gracias a la difusión del acceso a internet y de aparatos móviles entre la población de los países en desarrollo, y debido al mejor acceso a formas de financiación de las clases pobres, la financiación micro está viviendo un auge a nivel mundial.

Debido a la variedad de perfiles de las MFIs, es difícil definir un modelo de financiación micro absoluto. Normalmente, las organizaciones sin ánimo de lucro se financian a través de donantes y para conceder microcréditos primero necesitan préstamos de entidades financieras. Este sistema de doble préstamo no garantiza una disponibilidad constante de fondos y los tipos de interés para el deudor final pueden ser altos. Al contrario, las entidades financieras clásicas, que deciden entrar en el negocio de la financiación micro, tienen la ventaja de contar con infraestructura ya existente, experiencia y su propio capital. A diferencia de las entidades sin ánimo de lucro, las cuales trabajan a nivel local, las entidades financieras formales (FIs) carecen de la conectividad física con la gente pobre. Es por ello por lo que necesitan encontrar una forma alternativa para comprobar la solvencia crediticia de los productores y

encontrar sustitutos de aval. Es más, debido a las innumerables transacciones y la pequeña cantidad de dinero tratada, los microcréditos apenas cubren los costos de transacciones a afrontar por las FIs formales.

En general, las MFIs ofrecen un desembolso rápido del préstamo, cuotas de reembolso frecuentes y créditos personalizados, lo cual implica una relación personal intensiva entre el prestador y el prestatario. Los microcréditos varían entre 4 y 12 meses y deben ser reembolsados a cuotas mensuales, semanales o incluso diarias. Los típicos créditos de MFIs varían entre 100 y 300 dólares estadounidenses. No obstante, con la entrada de FIs con ánimo de lucro, la variedad de créditos ha aumentado considerablemente, permitiendo a productores y productoras comprar el equipamiento agrícola intensivo en capital como puede ser un SPIS.

MFIs ofrecen créditos a productores individuales como a grupos de productores. El Grupo de Modelo de Siembra (Planting Model Group) fue creado específicamente para la compra de SPIS y para permitir a productores y productoras obtener mayores préstamos. Los miembros del grupo se proporcionan garantías los unos a los otros: si uno de los productores o productoras no consigue pagar las deudas contraídas, los demás miembros se hacen cargo de estas. Solo los productores y productoras que confían los unos en los otros, están dispuestos a formar Grupos de Modelos de Siembra. Del mismo modo, en la India, los Grupos con Responsabilidad Solidaria consisten en 4 a 10 miembros y se forman con el propósito de avalar un crédito bancario a nivel individual a través de mecanismos de grupo a cambio de garantía mutua. En general, los miembros trabajan en actividades económicas similares y ofrecen un proyecto común al banco que les permita obtener el crédito.

DATOS REQUERIDOS

Debido a la gran variedad de entidades involucradas en el negocio de la financiación micro, los requisitos que deben reunir los productores y las productoras para obtener un microcrédito varían considerablemente. Es por ello necesario comprobar los requisitos necesarios por las FIs individuales en los demás capítulos de este módulo.

No obstante, una lista de los documentos más comunes necesarios para obtener un crédito son los siguientes:

- Documentos de identificación
- Edad mínima: 18 años
- Experiencia en el sector: normalmente se pide un año
- Una cuenta bancaria en la MFI u otra entidad financiera: con el fin de comprobar el flujo de caja y las transacciones del productor o la productora.
- Historial crediticio: ¿Ha pagado el productor o la productora todos los créditos pasados? ¿Es solvente?
- Avales blandos o garantes.
- Seguro crediticio (si procede).
- Un claro objetivo para el crédito debe ser presentados a la MFI.
- La mayoría de los créditos de MFIs se basan en relaciones humanas, por lo que suelen llevarse a cabo entrevistas personales.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Entidades financieras micro (MFI)
- Productores/productoras o Grupos de Productores/Productoras

ASUNTOS IMPORTANTES

La financiación micro permite la inclusión social pero no siempre reduce la pobreza, como se esperaba. De hecho, los altos tipos de interés, que rondan un 37 % de media, pudiendo alcanzar hasta un 70 %,

pueden provocar un empeoramiento de las condiciones de vida de la gente pobre.

Mientras que los bancos comerciales suelen ser socios de los mayores productores, las MFIs tienen mayoritariamente productores y productoras en PYMEs como clientes con medios financieros limitados y sin aval.

De manera similar, las Organizaciones Cooperativas de Ahorros y Créditos (SACCOs) pertenecen y son gestionadas por sus miembros para proveer una fuente de préstamos justos y tipos de interés razonables.

A veces, las MFIs y las SACCOs son confundidas entre sí. Las principales diferencias entre las dos entidades son:

- En una MFI, desde la petición de crédito hasta el desembolso de este solo pasan pocos días. Las SACCOs requieren hasta 6 meses para el desembolso.
- Los tipos de interés de las MFIs son mucho mayores que los de las SACCOs.
- El tiempo de amortización permitido por las MFIs es mucho menor.
- Las MFIs son llevadas por empleados pagados, mientras que las SACCOs por miembros de una cooperativa.
- En las SACCOs, los deudores son miembros que comparten la propiedad de la cooperativa, mientras que en las MFIs los deudores son clientes.

4. PRÉSTAMOS EN LA CADENA DE VALOR

RESULTADO / PRODUCTO

La financiación de las cadenas de valor es un método financiero para facilitar inversiones y créditos dentro de la cadena de valor. Este tipo de préstamo es una colaboración entre diferentes actores dentro de la misma cadena de valor, que quieren incrementar su productividad y la competitividad de la cadena de valor. Los proveedores y comerciantes actúan como proveedores financieros y facilitan a los productores y productoras el acceso a productos financieros que de otra manera no serían capaces de adquirir. Los actores en la cadena de valor pueden o bien prestar su propio capital a productores y productoras o, si no poseen los medios financieros necesarios para el préstamo, actuar como mediadores financieros entre los productores o productoras y las FIs. Los actores involucrados en créditos de cadenas de valor trabajan con un modelo de financiero de negocios.

Este tipo de financiación permite crear una situación beneficiosa para todos: los productores y productoras obtienen un crédito personalizado, que podrán devolver varios meses después del desembolso, los proveedores y comerciantes se garantizan a sí mismos un beneficio a través del interés obtenido y la cadena de valor mejorada.

La principal ventaja del crédito de cadenas de valor es que reduce los típicos riesgos de la financiación agrícola. Los proveedores y comerciantes, trabajando a nivel local, vigilan las transferencias monetarias, facilitando las transacciones. Es más, gracias a la relación personal que tienen con los productores y productoras, los proveedores y comerciantes pueden actuar como sus avales. La principal desventaja es que el tipo de interés puede llegar al 30 %, ya que los intereses del banco se suman a los del mediador financiero.

Este modelo financiero puede ser aplicado a créditos para la compra de SPIS:

- Los productores de SPIS proveen a productores y productoras con la tecnología, estos deberán pagar después, normalmente tras la venta de la cosecha. Usando este tipo de crédito, habrá más productores y productoras dispuestos a comprar un SPIS, y los proveedores incrementarán su clientela.
- Los comerciantes de alimentos, sin embargo, pagan a los productores y productoras de antemano los alimentos que van a comprar con posterioridad, proveyendo a estos del efectivo necesario para comprar un SPIS. Los productores y productoras, a cambio, garantizan a los comerciantes la entrega de los alimentos tras la cosecha. Los comerciantes de alimentos aceptan este tipo de pacto financiero porque tienen obligaciones de entrega de alimentos de calidad en grandes cantidades a actores subsiguientes. Los SPIS aumentan estas dos variables. Es más, los comerciantes usan este tipo de crédito para ganarse la lealtad de los productores y productoras, evitando que vendan sus cosechas a otros compradores interesados.

Ejemplos de créditos de cadenas de valor de actores tanto anteriores y subsiguientes incluyen:

Hortifruti es una empresa que provee de fruta a supermercados mayoristas en Costa Rica. En los 70, cuando Hortifruti comenzaba a operar en el sector, el mercado de fruta estaba fragmentado, los productores y productoras carecían de infraestructura y tecnología, haciendo imposible a los minoristas la venta de fruta

de buena calidad en grandes cantidades. Hortifruti decidió pues apoyar a productores y productoras mediante apoyo técnico y financiero. Hortifruti desarrolló dos tipos de modelo de financiación: un modelo de financiación bancaria y un modelo de financiación sin banco. La financiación bancaria recibía el apoyo del BAC San José – Hortifruti garantizaba al banco la compra de frutas del productor con una financiación del banco de un 60 % de los costos de producción. En este modelo, no fue necesario ningún aval, pero sí un seguro para la cosecha. El productor debía garantizar la entrega posterior de los cultivos a Hortifruti. Solo con el contrato de venta, el productor era considerado solvente en BAC San José. El segundo tipo de crédito es un modelo de financiación sin banco en el que Hortifruti pagaba para el 30 % de los costos de producción, sin intereses a pagar. El productor solo necesitaba firmar un contrato de entrega de alimentos en el futuro obteniendo a cambio los insumos necesarios.

Un ejemplo de crédito ascendente en la cadena de valor es el que fue concedido por el comerciante de equipamiento SolarNow en Kenia. SolarNow ofrece créditos a plazos de 6, 12 y 24 meses. Para obtener un crédito a 6 meses, el productor o la productora debe hacer un depósito de la mitad del precio de la bomba por adelantado, para asegurar el crédito. Visto que el precio total de la bomba es de 68.500 chelines kenianos, deberá pagar una cantidad de 34.250 KSh. Después del primero pago, seis cuotas de 6.550 chelines kenianos deberán ser pagados. Al final, el productor o la productora habrá pagado 73.550 chelines, un 7 % más que el precio original de la bomba. Para un crédito a 12 meses, el depósito inicial sería de un 15 %, seguido de 12 pagos mensuales a 10.275 KSh. Finalmente, el crédito a dos años también requiere un depósito del 15 % seguido de 24 pagos de 3.850 KSh cada uno.

Futurepump en Kenia ofrece a productores y productoras la opción de comprar un SPIS a través de créditos de grandes bancos. El Banco de Equidad (Equity

Bank) ofrece créditos de hasta 2 años con un depósito inicial del 30 %, un 5 % para los honorarios de apertura y un tipo de interés de un 14 %. KCB pide un depósito inferior al 10 % por adelantado, con una tasa de interés del 14 % junto a honorarios de apertura adicionales.

Finalmente, SunCulture dirigió un proyecto piloto en 2017 con 150 Rainmakers. Cada Rainmaker cuesta 50.000 KSh. Los productores y productoras debían entregar un depósito del 20 % del costo total, seguido de 12 pagos mensuales de 4.500 KSh. Así, cada productor y productora invirtió 64.000 KSh en el sistema. Este precio no incluye la entrega, la instalación ni los costos del entrenamiento. Tras finalizar este proyecto piloto, SunCulture decidió incrementar el precio del Rainmaker, ya que querían mejorar el producto y para ello era necesario un mayor margen.

DATOS REQUERIDOS

Los productores y productoras obtienen un crédito bajo las siguientes condiciones:

- Documentos de identificación
- Cuenta bancaria con el fin de verificar el flujo de caja y las transacciones
- En algunos casos, los productores y productoras deberán pagar un depósito con el fin de asegurar el crédito.
- Demostrar la existencia de un mercado para el alimento producido
- Probar una o dos cosechas exitosas del pasado con el fin de verificar la experiencia en el campo.
- Este tipo de crédito implica una relación más cercana entre los productores y productoras y los proveedores financieros. Estos deben confiar en los productores y productoras y estar convencidos de su capacidad de éxito y de reembolso del crédito.

- A veces, las entidades financieras solicitan cotizaciones de proveedores y comerciantes (similar a una garantía).
- Los contratos de compra o venta son necesarios para finalizar el crédito: las FIs deben tener la seguridad de que el productor o la productora va a obtener su dinero.
- Avales como activos o fuentes de ingresos alternativas no suelen ser necesarios.
- Los productores y productoras no tienen que ser propietarios de tierras: los terrenos pueden ser arrendados o alquilados.
- El tamaño de la explotación y el tipo de alimento cultivado juegan un papel importante: los comerciantes tienen la obligación de suministrar a actores de la parte inferior de la cadena con grandes cantidades de productos específicos, por ello seleccionarán a los productores o productoras que satisfagan sus expectativas.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Actores superiores e inferiores en la cadena de valor (fabricantes de SPIS, proveedores, procesadores de alimentos, comerciantes de alimentos)
- Entidades financieras
- Productores/productoras

ASUNTOS IMPORTANTES

Los créditos en las cadenas de valor pueden reducir la independencia de los productores y productoras. Los contratos de compra y de venta suelen ser necesarios para la obtención de préstamos y comprometen a productores con proveedores y/o distribuidores específicos. Es más, los productores y productoras deberán satisfacer algunos requerimientos con el fin de recibir el crédito.

5. ACUERDO DE ARRENDAMIENTO / READQUISICIÓN

RESULTADO / PRODUCTO

El arrendamiento es un instrumento financiero que permite el uso del equipamiento sin necesidad de comprarlo. Un contrato de arrendamiento requiere la participación de un arrendador, el propietario del activo, y de un arrendatario, quien es el actor con el derecho a utilizar el activo a cambio de una contribución mensual. Con la finalización del contrato de arrendamiento, el arrendatario puede optar por comprar el equipamiento. Hay diferentes tipos de instituciones involucradas en el negocio del arrendamiento, como pueden ser las MFIs, los bancos, los fabricantes de equipamiento y los comerciantes. El arrendamiento es un **modelo de negocios financiero**.

A pesar de su ánimo de lucro, el arrendamiento vale como método de financiación alternativo, ya que supera las barreras al desarrollo en áreas rurales. El arrendamiento permite a productores y productoras normalmente excluidos en la cesión de créditos, acceder a equipamiento agrícola innovativo. Los productores o productoras con contratos de arrendamiento son por lo tanto capaces de usar SPIS sin necesidad de poseerlo.

Los contratos de arrendamiento solo cubren parte del valor total del equipamiento, de manera que, al finalizar el arrendamiento, el equipamiento aún tendrá un valor residual. La duración de un contrato de arrendamiento depende de la vida útil del activo arrendado. Los contratos de arrendamiento están dotados de una cierta flexibilidad, ya que pueden ser vendidos o intercambiados en cualquier momento. El equipamiento más apropiado para el arrendamiento suelen ser tecnologías innovativas con una obsolescencia rápida, y activos que sufran un alto desgaste.

Desde el punto de vista del arrendador, el mayor problema en un contrato de

arrendamiento es la dificultad para supervisar los pagos y verificar el uso correcto del activo por parte del arrendatario sin dañarlo. Así pues, las entidades con el mayor éxito son aquellas que trabajan a nivel local, alcanzando a productores y productoras ubicados en áreas remotas.

Hay varias formas de arrendamiento. Las dos más comunes son el arrendamiento operativo y el arrendamiento financiero. El arrendamiento operativo es parecido al alquiler convencional. El arrendatario paga al arrendador una cuota por uso y otra cuota por la depreciación del activo. A cambio, el arrendador se hace cargo del mantenimiento y paga tanto el seguro como la tasa de registro. En el arrendamiento financiero (más parecido a un crédito), el arrendatario paga parte del valor total de los activos además de la tasa de interés en cuotas mensuales durante el contrato entero de arrendamiento. Al final de este, el arrendatario puede comprar el activo a un precio nominal (cantidad residual establecida previamente). Con este tipo de contrato, el arrendatario es quien paga el seguro y los costos de mantenimiento. Por ejemplo, si un SPIS cuesta 3.000 dólares estadounidenses, durante el contrato de arrendamiento, el productor o la productora paga solo un 60 % de su valor completo y un valor adicional para la tasa de interés. Al final del contrato, el SPIS tiene un valor residual de un 40 % (1.200 dólares estadounidenses), que deberán ser pagados si se desea comprar el equipo.

El fabricante del equipo y el distribuidor "Kickstart" proporcionan un arrendamiento micro para la compra de bombas solares donde el 30 % del pago deberá efectuarse por adelantado. El pago residual puede efectuarse 5 meses más tarde, cuando el productor haya obtenido el dinero necesario de la venta de la cosecha.

DATOS REQUERIDOS

Los requisitos para un arrendamiento son mucho menos estrictos que los requisitos para obtener un crédito. Así pues, la probabilidad de que los pequeños productores y productoras obtengan un arrendamiento es mayor que la de obtener un crédito.

Los siguientes requisitos son necesarios para estar cualificado para un arrendamiento de equipamiento:

- Documentos de identificación
- Cuenta bancaria con el fin de verificar el flujo de caja y las transacciones
- Historial crediticio del productor o productora: un contrato de arrendamiento no será registrado en su historial crediticio, pero con el fin de verificar su credibilidad, el historial crediticio pasado deberá ser examinado.
- Demostrar la existencia de un mercado para el alimento producido
- Probar una o dos cosechas exitosas del pasado con el fin de verificar la experiencia en el campo.
- A veces se requiere un seguro del arrendamiento.
- Al igual que un pago inicial para asegurar los activos.
- Avaluos o fuentes alternativas de ingresos no suelen ser necesarios. Un garante puede estar presente.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Arrendador (fabricante del equipo o comerciante / entidad financiera o ambos)
- Arrendatario (productor)

ASUNTOS IMPORTANTES

La principal ventaja del arrendamiento es que suele ser más económico que un

crédito. Los productores y productoras con un contrato de arrendamiento deberán pagar una parte del valor total del SPIS junto a una tasa de interés. Por el contrario, los productores y productoras que compren un SPIS deberán pagar el valor total del equipo además de la tasa de interés. Si el productor o la productora decide comprar el SPIS al final del contrato de arrendamiento, el arrendamiento será más caro que el crédito.

En algunos contratos de arrendamiento, los productores y productoras deben determinar de antemano con el arrendador el número de horas que piensan utilizar el SPIS. Cuanto más precisa sea su aproximación, más ganancias podrá obtener el productor o la productora. De hecho, las horas no utilizadas, no serán reembolsadas, y las horas extra serán severamente penalizadas.

La mayoría de los contratos de arrendamiento se llevan a cabo entre fabricantes de equipamiento o comerciantes y productores y productoras. Normalmente, los fabricantes que trabajan a nivel local actúan de intermediarios entre los productores y productoras y las FIs. Los fabricantes y comerciantes de hecho no poseen el capital o el conocimiento ni la infraestructura necesaria para gestionar el arrendamiento, por ello, son terceros en la transacción. Frecuentemente, la FI compra la bomba solar del comerciante y la arrienda al productor o a la productora. La FI puede ser propietaria del equipo hasta finalización del arrendamiento. En caso de impago, la FI reclama el activo en lugar de pasar por procesos de bancarrota y de venta del equipo. Las FIs tienen innumerables ventajas actuando como arrendadores: acumulan pagos de intereses y pagos principales como en un crédito, pero dado que además poseen el equipo, el arrendamiento es menos arriesgado que la concesión de un crédito. Es más, los contratos de arrendamiento amplían la clientela, ya que la evaluación crediticia se centra en la capacidad de reembolso del arrendatario y no en el historial crediticio o en la base de activos

de este. Una vez el equipo deja de ser útil, la FI puede o bien venderlo en el mercado o dejarlo como chatarra. Los SPIS en particular tienen “condiciones de recompra” del proveedor de equipos de riego solar. Esto significa que en el caso de impago o al final del contrato de arrendamiento, el comerciante acepta recomprar el equipo. Por ejemplo, un fabricante de SPIS acepta un arrendamiento de dos años y establece un valor de reventa del equipo partiendo de un escenario por defecto de tres meses. Si, por ejemplo, el arrendatario no devuelve el pago a los nueve meses, y el valor residual en ese momento es de un 75 %, el fabricante de SPIS devolverá el valor de recompra a la FI, mientras que la FI retiene los pagos de arrendamiento del 25 % inicial.

6. COOPERATIVAS / RESPONSABILIDAD SOLIDARIA

RESULTADO / PRODUCTO

Una cooperativa es “una asociación independiente de mujeres y hombres, unidos de forma voluntaria para satisfacer sus necesidades sociales, económicas y culturales comunes y aspiraciones a través de una empresa controlada y poseída de manera democrática” (ILO, *Recommendation 193: Promoting Cooperatives, 2002*). Las cooperativas unifican a personas con un lazo común, que puede ser la misma ocupación, el lugar de residencia, o la afiliación religiosa. El principal objetivo de las cooperativas agrícolas es incrementar la producción agrícola y los ingresos de sus miembros, juntando a productores de alimentos y posibilitando disfrutar de ventajas económicas y financieras, las cuales los productores y productoras individuales no pueden obtener. Las cooperativas son organizaciones sin ánimo de lucro, y por ello adoptan el **modelo financiero de desarrollo**.

Los servicios financieros son ofrecidos por las secciones específicas llamadas Cooperativas de Ahorros y Créditos (SACCOs). Cada persona que comparte un lazo común, que caracteriza la SACCO puede pasar a ser miembro de la cooperativa una vez haya pagado la cuota de inscripción.

Normalmente, las cooperativas agrícolas se financian por bancos, programas de desarrollo internacionales o gubernamentales o contribuciones voluntarias de sus miembros.

Las SACCOs, gracias a su estado sin ánimo de lucro, es capaz de ofrecer a sus miembros créditos competitivos con tasas de interés razonables. Las cooperativas obtienen normalmente un crédito de una entidad financiera clásica y lo dividen entre sus miembros. Un crédito para la compra de un SPIS no suele requerir un aval. Si el productor o la productora no consigue

reembolsar el crédito, la bomba solar será entregada a otro miembro o el valor del crédito será deducido de los dividendos del productor o la productora. Los créditos de grupo también son posibles: los miembros se avalan los unos a los otros, de manera que, si uno de los prestatarios no es capaz de devolver el pago, los demás miembros deberán asumir el pago de la deuda.

Las SACCOs ofrecen innumerables tipos de créditos, que en la mayoría de los casos funcionan con efectos multiplicadores. Esto significa que, si un miembro ha contribuido con 200 euros al fondo de la cooperativa, y las SACCOs utilizan un multiplicador de 2, entonces este miembro puede obtener un máximo de 400 euros. La SACCO keniana Waumini, por ejemplo, ofrece un crédito de desarrollo con un multiplicador de 3, a una tasa de interés del 12 % un periodo máximo de amortización de 60 meses, completamente asegurado. En la misma SACCO, también es posible obtener un crédito de grupo super flexible, en el cual los miembros del grupo se avalan los unos a los otros. El seguro demandado está a un 1 % de intereses y el crédito puede variar entre 10.000 y 3.000.000 chelines kenianos. Otra SACCO en Kenia llamada Hazina ofrece un crédito normal con un multiplicador de 4, y un crédito máximo de 3.000.000 chelines kenianos a devolver en 72 meses.

DATOS REQUERIDOS

Las condiciones para ser miembro de la cooperativa son las siguientes:

- Documentos de identidad.
- Lazo común con otros miembros de la cooperativa.
- Una fotografía tomada de cada rama de la cooperativa
- Una cuenta en la SACCO de interés.

- Un pago único no reembolsable de la tasa de ingreso (500 KSh. en la SACCO Waumini).
- Un pago único de un depósito mínimo (300 KSh. en la SACCO Waumini).
- Capital compartido que pueda ser pagado de una vez o a distintos plazos (15.000 KSh. en la SACCO Waumini).
- A veces, un seguro de riesgo debe ser pagado mensualmente (50 KSh. en la SACCO Waumini).

Para poder recibir un crédito siendo miembro de la cooperativa, será necesario:

- Rellenar el formulario de solicitud
- Encontrar a otros miembros que puedan avalarle en caso de que sea un crédito de grupo.

- Las cooperativas son menos atractivas para grandes actores ya que poseen menos incentivos de capital.
- Algunas cooperativas tienen dificultades a la hora de recibir créditos para sus miembros, ya que deben solicitar un crédito de una entidad financiera mayor en primer lugar.
- La toma de decisiones en las cooperativas es un proceso más lento y menos efectivo, ya que cada uno de sus miembros tiene el derecho a votar.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Cooperativa (SACCO)
- Entidades financieras
- Miembros de la cooperativa

ASUNTOS IMPORTANTES

Las principales diferencias entre bancos y cooperativas son las siguientes:

- Mientras que cualquiera puede unirse a un banco, solo personas con ciertas características tendrán la posibilidad de llegar a ser miembro de una cooperativa y solicitar un crédito por esta vía.
- Las cooperativas suelen ser instituciones más pequeñas con una o dos ramificaciones y un número limitado de cajeros automáticos.
- Las SACCOs ofrecen el mismo servicio que los bancos, pero los tipos de interés son inferiores, los créditos personalizados, el servicio de atención al cliente mejor y el sistema basado en confianza y no en avales.

7. GRUPOS DE AHORRO INFORMALES

RESULTADO / PRODUCTO

Los grupos de ahorros informales son grupos de personas que ahorran su dinero en un fondo común y toman préstamos de estos mismos ahorros. Los grupos de ahorros informales trabajan con una rotación predeterminada, en la que cada uno de sus miembros puede recibir un préstamo. En estos grupos, el crédito se percibe como un derecho humano, y por lo tanto se emplea el **modelo financiero de desarrollo**.

Los grupos de ahorros informales tienen entre 10 y 30 miembros que se reúnen mensualmente. Durante estas reuniones, los miembros del grupo deben depositar sus ahorros. El dinero recaudado será entonces cedido a un miembro del grupo. En cuanto el deudor haya reembolsado su deuda, otro miembro obtiene este crédito. El principal beneficio de los grupos de ahorros informales es que disciplina a las personas. Debido a la presión social, los miembros tenderán a satisfacer sus compromisos de ahorros mensuales. La tasa de interés que los miembros deberán pagar por sus préstamos es mucho menor que aquellos pedidos por bancos o MFIs. Este tipo de organizaciones están expandiendo rápidamente en áreas rurales de países en desarrollo.

Cada grupo sirve a un propósito determinado. En Kenia, por ejemplo, la Organización de Mujeres Felices (JOYWO), una organización dedicada al *table banking*, ayuda a mujeres y jóvenes de zonas rurales a promover la seguridad alimenticia. El término "*table banking*" proviene del método por el cual el dinero es depositado e intercambiado sobre una mesa. Los miembros de un grupo tienen un lazo en común: en JOYWO, por ejemplo, los miembros son mujeres mayores de 18 años y hombres jóvenes de entre 18 y 35 años. Debido al éxito del grupo, cada vez más varones quieren unirse. Así pues, una nueva regla permite a un tercio de los

miembros ser varones. En los grupos de JOYWO, tanto los préstamos a corto como a largo plazo son posibles. Las personas que son miembros durante más de 6 meses pueden solicitar un préstamo a largo plazo hasta 3 veces mayor a sus ahorros, con una tasa de interés del 1 % mensual y un periodo de amortización de entre 12 y 24 meses. Los créditos a corto plazo deberán ser reembolsados tras un mes con una tasa de interés del 10 %. Los préstamos ofrecidos no suelen estar asegurados, donde avales de menor valor como activos domésticos (televisor o sillas) pueden ser solicitados. Los miembros del grupo se avalan los unos a los otros: si uno de los miembros es incapaz de reembolsar el préstamo debido a cualquier razón, los demás miembros deberán hacer una colecta y liquidar su deuda. En caso de problemas financieros, un miembro puede retirar todos sus ahorros, pero se aplica una penalización.

DATOS REQUERIDOS

Para poder formar parte de un grupo de ahorros, deberán cumplirse los siguientes requisitos:

- Nacionalidad de un país específico (p. ej. solo personas con la ciudadanía keniana pueden formar parte de JOYWO).
- Los miembros deben pertenecer a un grupo social determinado o tener un lazo común.
- Los miembros del grupo deben conocer al solicitante y aceptarle en el grupo.
- El nuevo miembro deberá comprometerse y participar en las reuniones de grupo mensuales.
- Efectuar donaciones mensuales.
- Los miembros deben mostrar compromiso con el grupo y con las actividades de este.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Grupo de personas dispuesto a organizar sus ahorros.
- A veces los grupos de ahorros informales se administran desde una organización central, lo cual les ayuda a engrandecer sus fondos a través de contribuidores externos.

ASUNTOS IMPORTANTES

A pesar de que las entidades financieras formales también ofrezcan cuentas de ahorro, la gente pobre necesita organizar sus ahorros por sí mismos. La pequeña cantidad de ahorros y las transacciones frecuentes no cubren los costos operativos que cobran los bancos.

8. MODELO DE NEGOCIO PAGO-POR-USO

RESULTADO / PRODUCTO

El sistema de pago-por-uso es un modelo de negocios ofrecido por fabricantes y comerciantes de equipamiento que quieren prestar un servicio más que vender un producto. Los fabricantes y comerciantes transportan su equipamiento de un consumidor al siguiente, prestando un servicio y siendo pagados en función del tiempo de utilización, o del rendimiento proporcionado. A diferencia de otros capítulos de este módulo, el modelo de pago-por-uso es un modelo de negocios más que un producto financiero.

En el negocio de SPIS, el modelo de pago-por-uso está creciendo y propagándose rápidamente entre los fabricantes de SPIS y sus comerciantes. Los productores y productoras que quieran regar sus campos con una bomba solar pero que carezcan del capital y de los conocimientos necesarios, pueden confiar en expertos que se encargarán del riego de sus campos en días determinados a cambio de pagos por adelantado. Los productores y productoras no pagarán por lo tanto por el SPIS, sino por la cantidad de agua bombeada, creando una mayor concienciación sobre el agua usada y limitando el derroche de esta.

La principal ventaja para productores y productoras es que pagan solo por lo que usan sin ningún tipo de costo por inversión o mantenimiento. El sistema de pago-por-uso permite a los productores y productoras, que normalmente poseen un flujo de caja irregular, pagar por productos solares de alta calidad con poco dinero a lo largo del tiempo. Los fabricantes y comerciantes, por el otro lado, usan este modelo para agrandar su negocio y conseguir más clientes. El sistema de pago-por-uso cambiará de manera significativa el modelo de negocios de muchas empresas y también influirá en la cadena de valor de innumerables productos relacionados con alimentación.

Este sistema es más apropiado para productores y productoras situados cerca de comerciantes y fabricantes, ya que esto les permite ser alcanzados de manera rápida y regular. Los productores y productoras que no necesiten regar sus campos con tanta frecuencia o pueden confiar en fuentes alternativas de agua (p. ej. lluvia), ahorrarán dinero pagando solo por el servicio en lugar del producto.

Ejemplos de empresas adoptando este modelo son Claro Energy India y Kickstart International. Claro Energy provee a productores y productoras de un sistema de pago-por-uso con una línea gratuita, un plan de riego de prepago y programado y una activación remota del sistema mediante tarjeta de crédito, que puede llegar a productores y productoras en ubicaciones aisladas. Es más, ofrecen entrenamientos y demostraciones. Kickstart International se está desarrollando con Angaza Design, una tecnología de pago sobre la marcha (PAYGO) para riego solar llamado Futurepump. Angaza es una interfaz de web que ayuda tanto a fabricantes como a distribuidores a gestionar las operaciones de pago-por-uso en el sector de energía renovables para consumidores fuera de red.

DATOS REQUERIDOS

A diferencia de todos los demás servicios financieros, el modelo de pago-por-uso no tiene muchos requisitos. Los productores y productoras solo necesitan tener:

- Una cuenta bancaria con tarjeta de crédito para poder efectuar los pagos por adelantado.
- Poseer una licencia de agua (si procede): por razones medioambientales el agua no siempre puede ser extraída del suelo.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Distribuidores o fabricantes de SPIS.
- Productores/Productoras.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Herramientas

FINANZAS – Herramienta de gestión financiera

Otras herramientas pertinentes:

PROMUEVE – Herramienta de evaluación rápida de SPIS: incluye un análisis del mercado (financiero) para la financiación de componentes de SPIS

INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico: para calcular la rentabilidad general de la granja agrícola y determinar el monto de los costos variables y fijos

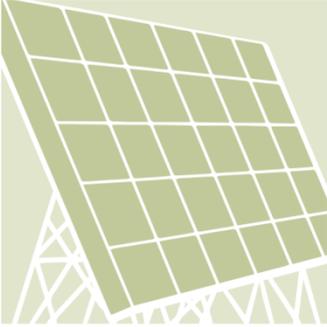
INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización: para calcular la viabilidad financiera de un SPIS y compararla con la de otros sistemas de bombeo alternativos (petróleo y electricidad de la red)

GLOSARIO

Seguro crediticio	Un crédito se considera asegurado si el deudor promete un aval. En caso de impago, el acreedor obtendrá la posesión del aval.
Capital inicial	Capital empleado para iniciar una actividad económica.
Plazo del préstamo	Tiempo disponible para reembolsar el pago necesario para liquidar una deuda.
Honorarios de apertura	Cantidad inicial requerida por una entidad financiera (FI) para abrir una cuenta.

POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 7: Diseña

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

Descargar

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.

Implemented by

© GIZ y FAO, 2018

 Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

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 _T	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 ²	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
Vd	Daily crop water requirement (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

DISEÑA

1. Recogida de datos



2. Analizar las opciones de producción agrícola



3. Determinar las necesidades y la disponibilidad de agua



4. Seleccionar la configuración del SPIS



5. Estimar el tamaño y los costos del sistema



6. Evaluar la viabilidad financiera



7. Preseleccionar posibles proveedores



8. Examinar las cotizaciones y evaluar la calidad



9. Contratar un proveedor

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

El presente módulo proporciona a los proveedores de servicios agrícolas información y herramientas sobre cómo estimar las dimensiones, la configuración, el tipo y la viabilidad financiera de sistemas de riego con energía solar en un contexto agrícola determinado. Un SPIS consta de múltiples componentes que funcionan bajo condiciones sujetas a constantes variaciones tanto diarias como estacionales. El diseño de un SPIS sienta las bases para la viabilidad técnica, financiera y ambiental del sistema. Teniendo en cuenta las implicaciones financieras y el posible riesgo de sobreexplotación de los recursos hídricos, el diseño de un SPIS requiere un examen exhaustivo previo a su instalación. Por ello, este módulo es también de gran importancia para los proveedores de servicios financieros, permitiendo a asesores y asesoras comparar el SPIS con otros sistemas de riego alternativos. En los pasos a seguir en el proceso de diseño expuesto en este módulo se describen las herramientas necesarias, haciendo frecuente referencia a ellas a lo largo del capítulo. Éstas contienen fórmulas simplificadas que permiten estimar parámetros de diseño importantes y facilitan la comprensión y la elaboración de un diseño detallado. Dadas las complejas interacciones entre los diferentes componentes de un SPIS bajo condiciones ambientales variables, las herramientas de este módulo no reemplazan un diseño técnico detallado por parte de profesionales en tecnología solar y de riego.

PASOS DEL PROCESO

Antes de comenzar con el diseño, es importante evaluar las oportunidades y amenazas que se presentan a un SPIS en

el área destinada a su instalación. El entorno institucional y los aspectos ambientales, según lo descrito en los módulos **PROMUEVE** y **SALVAGUARDA EL AGUA**, constituyen condiciones marco importantes a tener en cuenta. Además, la información local actualizada sobre mercados de insumos y productos (venta de cultivos) y otros datos son fundamentales para decidir si tiene sentido diseñar un SPIS en un lugar determinado. Una vez confirmado que un SPIS es la opción preferible, es esencial que el diseñador o diseñadora se atenga al uso previsto. Una vez determinadas las necesidades de agua de los cultivos, la radiación solar y la presión del sistema, se puede proceder a preparar el diseño técnico. Para confeccionar el diseño final, el planificador técnico o planificadora técnica puede elegir entre una serie de métodos de menor o mayor complejidad y precisión. Antes de optar por un proveedor particular, se deben evaluar a fondo los costos cotizados por el responsable de cada proyecto en conjunto con el usuario.

1. RECOGIDA DE DATOS

Para el diseño adecuado de un SPIS es necesario contar con una base de datos e información sobre la meteorología, el suelo, los cultivos, el agua y otros parámetros característicos del sitio en cuestión. Los datos pueden obtenerse a través de una combinación de entrevistas con el productor o productora agrícola, observaciones sobre el terreno e información externa (Internet, bases de datos, etc.). El productor o productora debe informar al diseñador o diseñadora sobre qué cultivos se van a plantar en qué momento y cómo se gestionarán. Puede que el productor o productora quiera servirse de la fertirrigación para acelerar el crecimiento, o puede que opte por árboles frutales en vez de cultivos anuales. Dependiendo de la localización de la explotación, es posible recoger muchos datos de fuentes externas; por ejemplo, datos meteorológicos, topográficos y quizás incluso sobre la disponibilidad de agua en el lugar. Aunque merecería la pena realizar un estudio *in situ* de la radiación solar y otros datos

meteorológicos, la mayoría de los sistemas están basados en datos existentes derivados de lugares de referencia cercanos. Las oficinas o servicios de extensión agrícola pueden proporcionar datos sobre la evapotranspiración y las necesidades de agua de los cultivos. Finalmente, es necesario validar los datos mediante una visita al terreno donde es posible complementarlos con información local; por ejemplo, sobre la calidad del suelo y el agua, la sombra provocada por árboles o elevaciones del terreno, la facilidad de acceso al sitio, la altura total de bombeo, etc.

La herramienta **DISEÑA – Plantilla para la recogida de datos** contiene pautas para entrevistas y listas de verificación para asegurarse de que se dispone de toda la información necesaria para diseñar un SPIS. La herramienta **DISEÑA – Lista de verificación para la determinación de la aptitud de SPIS** se emplea para realizar un control cualitativo de la aptitud de un sitio para un SPIS.



Recogida de datos *in situ* para un SPIS en la India
(Fuente: Lennart Woltering)

RESULTADO / PRODUCTO

- Descripción detallada de la situación individual de la granja como base para la evaluación de la configuración adecuada y el diseño técnico;
- **DISEÑA – Plantilla para la recogida de datos** para recoger toda la información requerida para efectuar el diseño de un SPIS;
- **DISEÑA – Lista de verificación para la determinación de la aptitud de SPIS** para el control cualitativo de la aptitud de un sitio para SPIS.

DATOS REQUERIDOS

- **Datos meteorológicos:** insolación, temperatura, velocidad del viento, humedad, precipitaciones, evaporación;
- **datos del sitio:** longitud, latitud, altitud, fuente de agua, altura total de bombeo, sombra, clima, terreno;
- **datos de los cultivos:** tipos y variedades de cultivos, periodo vegetativo, rotación de cultivos, necesidades de agua de los cultivos, fertilizantes, necesidades de protección de los cultivos;
- **datos sobre el suelo:** tipo de suelo, salinidad, capacidad de retención de agua, contenido de materia orgánica, fertilidad;
- **datos sobre el agua:** disponibilidad, recarga de aguas subterráneas, derechos de agua, salinidad, temperatura, contenido de algas, contenido de sedimentos;
- **datos sobre el mercado:** situación de la demanda, precios de venta, estacionalidad, tipo de mercado y distancia para acceder al mismo.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras/grupos de productores y productoras;
- proveedores de servicios agrícolas;
- autoridades encargadas de la gestión de los recursos hídricos;
- proveedores de servicios meteorológicos;
- instaladores.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Los SPIS requieren productores y productoras que sepan lidiar con flujos de agua que varían durante el día y a lo largo del año.
- La evaluación insuficiente de las necesidades y la disponibilidad de agua *in situ* lleva con frecuencia a un infra- o sobredimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Esto suele ocurrir en los mercados impulsados por subsidios, en los que los diseños de los sistemas están estandarizados y los tamaños no son ajustables.

2. ANALIZAR LAS OPCIONES DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Es importante diseñar un SPIS que sea asequible y rentable. La rentabilidad depende de los ingresos o el producto de la venta de los cultivos. La elección de los cultivos es, pues, de importancia decisiva:

- Los cultivos arbóreos, tales como naranjos y mangos, no comienzan a generar ingresos sino hasta después de 3 a 5 años.
- Las verduras son difíciles de cultivar y transportar, pero producen por lo general ingresos elevados.
- Los cultivos básicos, tales como el mijo, el sorgo y el maíz, son con frecuencia de poco valor y rara vez justifican la inversión en sistemas de riego.
- Otros cultivos, o los utilizados para su transformación (biocombustible), pueden generar ingresos elevados dependiendo del mercado local.

Cada cultivo tiene un presupuesto de producción diferente, el cual depende de la relación entre los costos de producción y los ingresos previstos. La función de los agentes de extensión agrícola es informar a los productores y productoras sobre los cultivos o la combinación de cultivos que prometen los mejores rendimientos en una zona determinada. Con esta información, el productor o productora traza un calendario de cultivos para todo el año en el que se indica qué cultivo se ha de sembrar, cuándo y en qué parte del campo. Dado que el mercado de los cultivos es dinámico, es fundamental mantenerse informado de la evolución de los precios. Los precios de las verduras pueden triplicarse o cuadruplicarse fácilmente en el transcurso de una temporada.

Importante:

La rentabilidad de una explotación de regadío depende en gran medida de la siembra del cultivo indicado en el

momento adecuado. Dos SPIS idénticos, uno de los cuales se utilice para cultivar maíz, y el otro para producir tomates, arrojarán rendimientos financieros muy diferentes.

La definición de “cultivo de alto valor” depende del mercado. En general, las frutas y verduras son consideradas cultivos de alto valor. La producción apropiada de las mismas requiere mano de obra cualificada y una estrategia adecuada en lo que concierne a la fertilidad del suelo y la gestión de plagas y enfermedades. Los asesores y asesoras agrícolas desempeñan un papel importante en este respecto, y deberían estar en condiciones de facilitar el acceso de los agricultores y agricultoras a programas de desarrollo de capacidades.

RESULTADO / PRODUCTO

- Visión de conjunto de presupuestos de cultivos que muestran los costos de producción y los ingresos previstos basados en información del mercado local;
- calendario modelo de cultivos.

DATOS REQUERIDOS

Los datos requeridos para analizar la producción agrícola pueden obtenerse de los registros propios de la explotación y de proveedores de servicios externos. Esta información abarca:

- una compilación de todos los cultivos incluidos en el actual patrón de cultivos de la explotación;
- niveles de rendimiento y precios de mercado de los cultivos;
- costos de producción (semillas, fertilizantes, protección fitosanitaria, tracción, transporte, mano de obra, servicios).

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras/hogares agrícolas;
- servicios de extensión agrícola;
- proveedores de tecnología y servicios.

ASUNTOS IMPORTANTES

- El o la agente de extensión agrícola debería ser capaz de asistir a los productores y productoras en la confección de un calendario anual de cultivos con la combinación óptima de cultivos.
- Dependiendo de la disponibilidad de agua, los productores y productoras deberían procurar cultivar la tierra durante todo el año para justificar la inversión realizada en la infraestructura de riego.
- La capacidad del productor o productora de plantar cultivos de alto valor es fundamental.

3. DETERMINAR LAS NECESIDADES Y LA DISPONIBILIDAD DE AGUA

Necesidades de agua: La cantidad de agua que necesita una planta depende del clima y el cultivo, así como de la gestión y las condiciones ambientales. Se expresa como “necesidades de agua de los cultivos” (CWR, por sus siglas en inglés) (v. **INFÓRMATE** – Principios del riego).

El cálculo de las necesidades de agua de los cultivos es una tarea compleja, pero con la ayuda de herramientas informáticas útiles, tales como CROPWAT, los agentes de extensión agrícola con experiencia están en condiciones de brindar asesoramiento individualizado a los productores y productoras. CROPWAT es un programa gratuito disponible, tras haberse registrado, en la página web de la FAO (v. enlace al final del presente módulo). Las oficinas y servicios de extensión agrícola suelen estar en condiciones de proporcionar datos de CWR para los cultivos más comunes de una zona basados en las condiciones climáticas que prevalecen en la zona en cuestión.

La suma de las necesidades de agua individuales de cada planta del campo determina las “necesidades netas de agua de riego” (NIWR, por sus siglas en inglés) durante un periodo de tiempo determinado. Estas necesidades netas de agua de riego determinan la cantidad de agua que un cultivo necesita para satisfacer su demanda de agua en el suelo. Sin embargo, el agua nunca es aplicada con una eficiencia del 100 %, dado que puede haber fugas y otras pérdidas en el sistema. La eficiencia depende en gran medida del método de riego (p. ej., riego por surcos, por compartimientos, por goteo o por aspersión). El término “necesidades brutas de agua de riego” (GIWR, por sus siglas en inglés) expresa la cantidad de agua que requiere el sistema de riego. Es importante sustraer el agua aportada a la zona radicular de las plantas por las precipitaciones. La herramienta **DISEÑA** –

Herramienta de cálculo del bombeo ayuda a diseñar el sistema de riego de una manera que garantice la menor pérdida posible de presión en el interior del sistema, y sirve además como lista de verificación para identificar pérdidas de presión debidas, por ejemplo, a fugas en un sistema existente.

Disponibilidad de agua: Al abordarse la planificación y el diseño de cualquier sistema de riego, lo primero que debe tenerse en cuenta es siempre las necesidades y la disponibilidad de agua (acceso al agua, derechos de agua y títulos de concesión, rendimiento del pozo o la perforación). A continuación, se podrá diseñar un sistema basado en la disponibilidad de agua y el patrón de cultivos que resulte más apropiado y sea posible. La extracción de agua y los componentes del sistema de riego deben estar ajustados entre sí al objeto de lograr resultados óptimos en términos de viabilidad técnica, financiera y ambiental.



La disponibilidad de agua es un factor decisivo para el diseño de cualquier sistema de riego (Fuente: Lennart Woltering)

RESULTADO / PRODUCTO

- Disponibilidad de agua;
- demanda total de agua de riego;
- programas de riego alternativos;
- características hidráulicas del sistema de riego;
- **DISEÑA – Herramienta de cálculo del bombeo** para detectar pérdidas de presión en el sistema.

DATOS REQUERIDOS

- Evapotranspiración local (datos de ETo);
- datos meteorológicos (precipitaciones, vientos e insolación);
- información sobre los cultivos (p. ej., valores de ETc);
- características del suelo;
- tipo y eficiencia del sistema de riego;
- licencia/derechos de agua, capacidades del pozo y el acuífero *in situ*.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras;
- proveedores de servicios agrícolas;
- proveedores de servicios meteorológicos;
- autoridades de agua;
- asociaciones de usuarios y usuarias de agua.

ASUNTOS IMPORTANTES

- El programa informático CROPWAT incluye datos estándar de suelos y cultivos, pero requiere que se introduzcan datos locales para poder efectuar predicciones

precisas relacionadas con una explotación específica.

- Una extracción excesiva de aguas subterráneas que rebase de forma continua la capacidad de recarga natural de la vena subterránea puede crear una situación de sobreexplotación o agotamiento persistente de los recursos hídricos (con graves impactos negativos sobre el medioambiente) (v. módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**).
- Para un diseño correcto de la bomba se debe tener en cuenta la capacidad del pozo ubicado en el sitio específico.
- Se debe planificar un seguimiento eficaz de la extracción de agua.
- La demanda de agua de riego varía en el transcurso del año, con demandas pico que con frecuencia equivalen a más del doble de la demanda media.

4. SELECCIONAR LA CONFIGURACIÓN DEL SPIS

Un SPIS puede diseñarse de muchas maneras, variando según la forma en que se combinen sus componentes clave:

- sistema de montaje de los paneles solares (fijo o con seguidor solar);
- instalación de la motobomba (sumergible o de superficie);
- integración o no de un reservorio;
- método de riego: riego principalmente por goteo o de superficie.

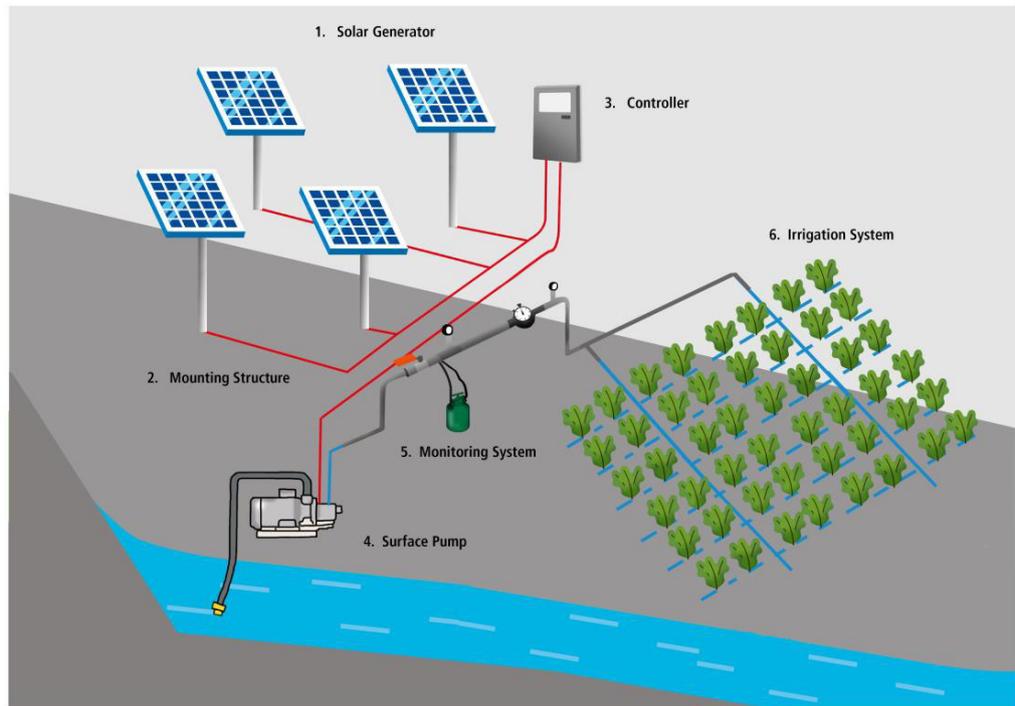
El módulo **INFÓRMATE** ofrece una vista de conjunto y una descripción de diferentes configuraciones de los componentes individuales.

Técnicamente, cualquier método de riego puede combinarse con una bomba de agua solar. Pero se trata también de una cuestión de costos. La presión y altos niveles de descarga requieren más energía, y suponen por tanto mayores costos. El riego por goteo, que trabaja con presiones de operación comparativamente bajas y es eficiente en cuanto al uso de agua, es el más adecuado para los sistemas de bombeo solar, aunque requiere también que el productor o productora adquiera nuevos conocimientos

y aptitudes sobre la gestión del riego. La aptitud de una configuración particular del sistema para un caso concreto depende de la disponibilidad de agua y las necesidades de agua específicas de la explotación, así como de la producción agrícola y los conocimientos, las aptitudes y el presupuesto del productor o productora.

Al diseñar el sistema, deberían considerarse ya los recursos humanos y financieros que requerirá su mantenimiento. Por regla general, el ahorro del tiempo y los esfuerzos que exigirían el mantenimiento y la reparación de equipos de mala calidad compensa con creces una mayor inversión en equipos de buena calidad.

La figura a continuación muestra una configuración de un SPIS en la que se ahorran los costos para el reservorio, pero se invierte en sistemas de seguimiento solar. El sistema de seguimiento permite una descarga de la bomba relativamente estable, lo que es importante debido a que no existe un reservorio o tanque que modere la cantidad de agua que fluye hacia al campo. El agua puede ser controlada además por válvulas y mediante la división en secciones del sistema de riego por goteo.



Configuración de un SPIS con sistema de seguimiento solar, bomba de superficie y riego por goteo

(Fuente: GFA)

La siguiente figura muestra otra configuración, más común, en la que se bombea agua subterránea, que es almacenada en un tanque o reservorio elevado. El agua pasa por el cabezal de riego, que puede estar equipado con válvulas volumétricas y/o con un sistema de fertirrigación. No obstante, el productor o productora se ve en la obligación de dividir el campo en pequeñas parcelas para posibilitar una distribución relativamente controlada del agua por todo el campo. Esta configuración del SPIS requiere relativamente poco mantenimiento, dado que los paneles y la bomba son fijos.

DATOS REQUERIDOS

- Resultados de la recogida de datos *in situ*;
- resultados del análisis financiero comparativo.

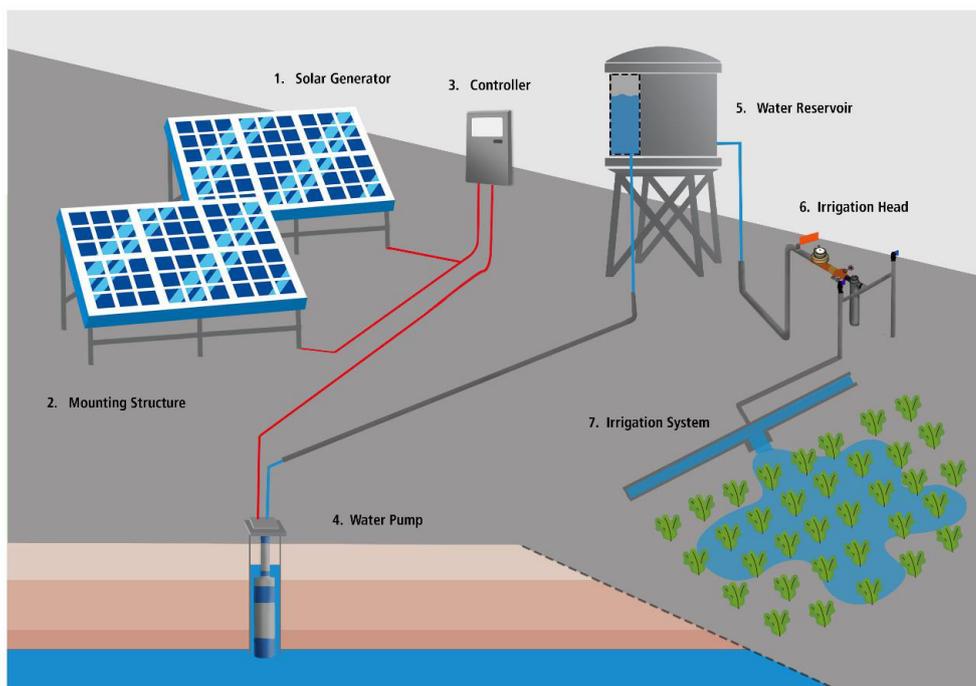
PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras;

- proveedores de servicios agrícolas;
- proveedores de tecnología/instaladores e instaladoras de sistemas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- El bombeo de agua fotovoltaico funciona mejor con sistemas de riego por goteo a baja presión.
- La conexión directa de la bomba solar con el sistema de riego da lugar a una carga hidráulica dinámica y variable que hace más compleja la planificación.
- La variación de las cargas hidráulicas puede mitigarse (a) utilizando válvulas automáticas, (b) adaptando el tamaño del campo de riego, y (c) con sistemas de seguimiento solar.
- La combinación del bombeo de agua fotovoltaico con métodos tradicionales de riego de superficie tiende a no ser viable en términos financieros.



Configuración de un SPIS con paneles solares fijos, bomba sumergible, un reservorio y riego de superficie
(Fuente: GFA)

5. ESTIMAR EL TAMAÑO Y LOS COSTOS DEL SISTEMA

El dimensionamiento correcto de los componentes de un SPIS es fundamental, puesto que un sistema de insuficiente capacidad no satisfará las necesidades del agricultor o agricultora, y un SPIS sobredimensionado supondrá costos innecesarios de operación y de capital. La negligencia del rendimiento sostenible de las fuentes de agua puede traer consigo una escasez de agua y el agotamiento de los recursos hídricos, con los consiguientes impactos negativos en el presupuesto de la explotación y en el medioambiente. Es pues de gran importancia mantenerse en estrecho contacto con el productor o productora durante la fase de planificación, e informarle de las ventajas y los límites de los SPIS.

El tamaño requerido del generador fotovoltaico puede estimarse utilizando los siguientes parámetros:

- necesidades diarias de agua de los cultivos V_d [$m^3/día$]
- altura total de bombeo H_T [m]
- promedio de la radiación solar global diaria G para el mes de diseño [$kWh/m^2día$].

Para estimar la potencia pico (P_{pico} [Wp]) requerida del generador fotovoltaico puede utilizarse una sencilla fórmula aritmética que tiene en cuenta la eficiencia de los componentes individuales del sistema:

$$P_{pico} = 8,0 \frac{H_T \times V_d}{G_d}$$

Ejemplo: Se ha calculado que los cultivos en un sistema de riego requieren 30 $m^3/día$ de agua, y las observaciones sobre el terreno confirman que el agua debe bombearse una altura de 50 m desde un pozo de sondeo hasta un reservorio. Por otro lado, de la página web de la NASA se

desprende que la irradiación global total diaria en el lugar de la explotación es de 5 $kWh/m^2día$. Así, según esta ecuación y las unidades utilizadas, se requiere un generador fotovoltaico de 2.400 Wp.

La herramienta **DISEÑA – Herramienta de cálculo del bombeo** (hoja de trabajo de Excel) puede utilizarse para determinar el tamaño aproximado del generador solar, lo que servirá de orientación a la hora de contactar con proveedores de tecnología de SPIS.

El costo aproximado del sistema fotovoltaico proyectado puede calcularse multiplicando el costo medio del sistema en el país de que se trate [moneda/kWp] por la potencia calculada (P_{pico}) del generador fotovoltaico.

El diseño final de la bomba fotovoltaica y el sistema de riego debe dejarse en manos de técnicos y profesionales que utilizan herramientas informáticas tales como COMPASS, WinCAPS y PVSYST, HydroCALC, GESTAR para el dimensionamiento y la simulación de sistemas (v. “Lecturas complementarias, enlaces y herramientas” al final del módulo).

Siguiendo este procedimiento, se completarían los principales pasos analíticos de apoyo a la toma de decisiones, y se dispondría de los elementos para tratar los aspectos técnicos, agronómicos y financieros de la posible configuración de un SPIS (y posibles alternativas).

RESULTADO / PRODUCTO

- Tamaño requerido del generador fotovoltaico;
- preselección de la unidad motor/bomba;
- características del motor/bomba;

- esquema del sistema de distribución de agua;
- evolución diaria de la radiación solar y el flujo de agua;
- estimación del costo del sistema;
- parámetros del costo del sistema;
- lista de verificación/evaluación de la aptitud.

DATOS REQUERIDOS

- Necesidades diarias de agua de los cultivos V_d [$m^3/día$];
- altura total de bombeo H_t [m];
- promedio de la radiación solar global diaria G para el mes de diseño [$kWh/m^2día$];
- costo de la motobomba fotovoltaica en el país en cuestión [moneda/kWp].

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Proveedores de servicios agrícolas;
- técnicos e instaladores.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Existen diferentes configuraciones de SPIS, en conjunto con el agricultor o agricultora se debería identificar la mejor opción, considerando aspectos técnicos y económicos
- Basta determinar la demanda de agua, la altura total de bombeo y la radiación solar para estimar fácilmente el tamaño del generador solar. Para ello existen programas informáticos que calculan en detalle los parámetros técnicos del sistema de bombeo y facilitan la elección de una motobomba adecuada
- Normalmente, los SPIS tienen que estar sobredimensionados para satisfacer las demandas pico, de lo que resulta un grado bastante bajo de utilización del sistema.

6. EVALUAR LA VIABILIDAD FINANCIERA

Los sistemas de riego con energía solar se han convertido en una alternativa financieramente viable a las bombas de agua a diésel o eléctricas para el riego de cultivos agrícolas. Ello se debe principalmente al hecho de que:

- el costo de los módulos fotovoltaicos ha disminuido en los últimos años;
- los sistemas fotovoltaicos son más fiables y más económicos;
- los equipos fotovoltaicos se han hecho más accesibles en muchas partes del mundo, al igual que los conocimientos técnicos para su instalación y mantenimiento.

Las herramientas **INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico** e **INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización** han sido diseñadas para ayudar a determinar la viabilidad financiera del SPIS. Mientras que la primera permite evaluar la rentabilidad de la explotación agrícola, la segunda compara el potencial de recuperación de diferentes tecnologías de riego.

Nota: Las estimaciones de costos necesarias para estas herramientas deberían ser recabadas de los proveedores tecnológicos y de servicios.

Los siguiente indicadores y estados financieros ayudan a evaluar la viabilidad financiera:

Criterios de evaluación	Indica:
Análisis de flujo de caja	...si un proyecto genera suficiente efectivo para mantener su liquidez; esto es, para pagarlo todo en efectivo.
Periodo de amortización	...el tiempo requerido para recuperar el costo de una inversión; cálculo muy básico.
VAN – valor actual neto	...si un proyecto genera suficientes ingresos (y excedentes) para financiar el capital empleado y los intereses sobre el mismo.
TIR – tasa interna de retorno (o de rentabilidad)	...la tasa de rendimiento estimada que genera un proyecto / inversión durante su periodo de vida.
Costos del ciclo de vida total	...las diferencias de costos entre proyectos alternativos durante todo el ciclo de vida de los mismos.

La evaluación de la viabilidad financiera de un SPIS es un procedimiento complejo que debería ser discutido con expertos y expertas en finanzas. Este módulo solo ofrece una visión de conjunto de los datos clave necesarios. Obsérvese que todos los cálculos:

- deben basarse en precios comprobables, aunque también pueden fundarse en estimaciones y supuestos;

- deberán tener en cuenta la situación actual y escenarios futuros;
- deben hacerse efectuando comparaciones con sistemas de bombeo alternativos (basados en electricidad o gasóleo).

El análisis financiero se asienta sobre tres grandes pilares:

1. Ingresos

- a. directos: obtenidos por la venta de bienes/servicios;
- b. indirectos: obtenidos por pagos evitados (p. ej., consumo de alimentos de producción propia, o costos de energía ahorrados).

2. Gastos de capital: inversiones a largo plazo, no recurrentes, en elementos no fungibles del negocio, tales como:

- a. costos de un sistema de bombeo solar, un reservorio, un sistema de riego;
- b. (costo de oportunidad de) mano de obra para construcción e instalación;
- c. equipo de procesamiento, almacenamiento;
- d. costos de reinversión.

3. Gastos operativos o de funcionamiento: costos corrientes (fijos y variables) de operación y mantenimiento

- a. semillas, fertilizantes, pesticidas y otros insumos para la producción;
- b. costos de procesamiento, tales como limpieza, embalaje, control de calidad;
- c. costos de mantenimiento, transporte y publicidad;
- d. costos de mano de obra, incluido el costo de oportunidad del trabajo propio del productor o productora;
- e. costos de amortización y, posiblemente, de crédito para el pago de un préstamo.

RESULTADO / PRODUCTO

- Proyecciones de flujo de caja;
- periodo de recuperación;
- valor actual neto (VAN);
- tasa interna de retorno (TIR);
- costos del ciclo de vida total de la inversión en un SPIS.

DATOS REQUERIDOS

Investigar, recoger, analizar, comprobar:

- vida útil del proyecto/SPIS;
- gastos de capital/inversión inicial de capital (esto es, precios de los componentes a ser financiados) para energía solar y otras opciones;
- ingresos por ventas (precios de mercado);
- costos de operación y mantenimiento;
- variables macroeconómicas (inflación, tasas de interés, etc.);
- políticas fiscales (impuesto de sociedades, dinámica del IVA, etc.);

Calcular, preparar:

- costo unitario del agua;
- ingresos anuales y gastos de operación (GO), margen bruto anual de la producción (actual y futuro, y para otras opciones de energía);
- gastos de capital (GC); esto es, importe total/anual para la financiación de la inversión en SPIS (y en un sistema alternativo).

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Proveedores de servicios agrícolas;
- proveedores de servicios financieros;
- entidades públicas que promueven y/o subsidian iniciativas de SPIS;
- agricultores y agricultoras, asociaciones de productores y productoras/posibles prestamistas;
- analistas/consultores de mercado.

ASUNTOS IMPORTANTES

Al comparar sistemas de bombeo solar con otros basados en gasóleo o electricidad, deben tenerse en cuenta las siguientes observaciones:

- Gastos de capital (GC): Los costos iniciales de capital para un sistema basado en gasóleo son inferiores a los costos que implican las soluciones fotovoltaicas; pero en los sistemas basados en gasóleo se dan con mayor frecuencia costos de reposición.
- Gastos operativos (GO) + flujo de caja:
 - los sistemas basados en gasóleo y electricidad tienen gastos regulares de operación (costos de combustible + precio de transporte/energía + conexión a la red) mayores que los sistemas solares;
 - los costos de mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos son bajos (v. módulo **MANTENIMIENTO**);
 - debido a la elevada inversión inicial que requieren los sistemas solares, con su adopción se corre el riesgo de afrontar mayores costos de financiación (pago de vencimientos del préstamo y tasas de interés) que con la adopción de sistemas basados en gasóleo.

Estos factores influyen en la viabilidad financiera de las diferentes opciones; por tanto, antes de tomar una decisión es preciso estudiar en detalle diferentes escenarios.

7. PRESELECCIONAR POSIBLES PROVEEDORES

Una vez realizado el diseño técnico y calculados los costos, es preciso comparar las cotizaciones y seleccionar un proveedor.

Preselección de proveedores: El mercado de SPIS se encuentra aún en pleno desarrollo. Por ello, en la mayoría de los casos las bombas solares aún no tienen cabida en la cartera de los proveedores de servicios agrícolas tradicionales. Los fabricantes de bombas fotovoltaicas, en cambio, seleccionan a menudo a distribuidores e instaladores especializados en sistemas solares para que promocionen sus productos. Hay varios aspectos que deben tenerse en cuenta a la hora de preseleccionar potenciales proveedores/instaladores:

- buscar marcas líderes en la cartera del proveedor de servicios;
- verificar que poseen larga experiencia en el ámbito del bombeo solar de agua;
- verificar si existe una red regional de distribución y un abastecimiento eficaz de piezas de recambio;
- verificar si se ofrecen servicios posventa.

Solo rara vez se encuentran en el mercado soluciones holísticas que incluyan la bomba fotovoltaica y el sistema de distribución de agua, aunque sería útil contar con una configuración integrada del sistema para incrementar la eficiencia y la fiabilidad globales del SPIS. Son preferibles aquellos proveedores que ofrezcan soluciones “llave en mano”, a condición de que sean capaces de adaptar todos los componentes del sistema a las condiciones del sitio y las necesidades del productor o productora.

Requisitos de calidad y seguridad: Una condición previa para el funcionamiento seguro y la durabilidad del SPIS es que todos los componentes del sistema cumplan unas normas mínimas de calidad

y seguridad. Al solicitar cotizaciones o llamar a licitación, se debe establecer claramente que solo podrán ofrecerse productos de alta calidad que satisfagan las normas internacionales (p. ej., IEC, ISO). La empresa proveedora del sistema debe aportar certificados que confirmen la calidad del mismo. La oferta debe incluir también la garantía, y los detalles y costos de los servicios posventa, del proveedor de servicios.

Además, es preciso determinar si el proveedor de servicios tiene una representación local en la zona donde se encuentra la explotación. Ello posibilitará responder con rapidez a solicitudes de mantenimiento y reparación, incluido el suministro de piezas de recambio. En caso de averías del sistema, los tiempos de espera prolongados para la prestación de servicios de reparación podrían acabar dañando los cultivos.

Datos de diseño y calendario: Cuando se solicita una cotización, se debe incluir un conjunto completo de datos de diseño de alta calidad. Se debe asegurar la exactitud de los datos de dimensionamiento específicos del sitio (Vd, Ht, G). El plazo para la presentación de cotizaciones/ofertas debe fijarse dejando suficiente tiempo para su preparación (p. ej., 4 semanas).

RESULTADO / PRODUCTO

- Solicitud de cotización;
- en caso de preferirse un proceso de licitación a un acuerdo directo entre el distribuidor o distribuidora y el comprador o compradora: juego de documentos de licitación que incluya una descripción exhaustiva de los requisitos del sistema;
- inclusión en las cotizaciones/ofertas de los costos

del sistema y los servicios posventa.

DATOS REQUERIDOS

- Resultados de la recogida de datos *in situ*;
- información sobre la cartera de productos;
- experiencia de los posibles proveedores/minoristas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Normalmente el mercado no dispone de un diseño integrado de SPIS que comprenda un sistema de bombeo y de riego; así, los componentes del sistema deben ser adaptados entre sí para obtener resultados óptimos.
- Existen grandes diferencias de calidad entre todos los componentes del sistema disponibles en el mercado.

8. EXAMINAR LAS COTIZACIONES Y EVALUAR LA CALIDAD

Vencido el plazo de presentación, las cotizaciones/ofertas de los diferentes proveedores se abren y se examinan atendiendo a los aspectos técnicos y financieros. Para ello, deben tomarse en consideración los siguientes factores:

- Para la comparación y evaluación de las diferentes cotizaciones/ofertas es aconsejable preparar una hoja de trabajo de Excel en la que se introducen las características y los precios de los componentes individuales del sistema y los servicios.
- La definición de los criterios de evaluación y la ponderación de los aspectos técnicos y financieros facilitan la evaluación.

Los siguientes aspectos ayudan a evaluar la calidad de los componentes del sistema ofrecidos:

Periodo de garantía

Es importante evaluar el periodo de garantía, cuya duración se limita con frecuencia a 5 años. Los componentes individuales del sistema, tales como los paneles solares, vienen normalmente con una garantía del producto de 10 años y una garantía de desempeño lineal que promete como mínimo un 80 % de rendimiento al final del año 25.

Generador solar/calidad de los paneles solares

Debido a su frecuente instalación en lugares sometidos a condiciones ambientales rigurosas, los paneles solares están expuestos constantemente a temperaturas elevadas, la radiación ultravioleta, el polvo, la humedad y las lluvias. Esto puede conducir a un fuerte desgaste de los materiales de recubrimiento y las conexiones eléctricas, y es por ello que solo pueden admitirse productos de alta calidad que satisfagan

las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

Cableado

Para la instalación eléctrica de un sistema fotovoltaico deben utilizarse cables y conductores que satisfagan los requisitos para esta aplicación. Para conexiones de corriente continua, los cables de un solo conductor con doble aislamiento son una solución viable y fiable. Estos deben ser resistentes a la intemperie y la radiación ultravioleta y aptos para un amplio rango de temperaturas.

Caja del combinador de conexiones fotovoltaico

La caja del combinador debe estar construida de acuerdo con la clase de protección II, y presentar una clara separación de los lados positivo y negativo dentro de ella. Si está montada en el exterior, debería tener como mínimo un nivel de protección de ingreso IP54 o mayor.

Nota: La clase de protección de EN 60529 viene indicada por símbolos breves que constan de las dos letras del código IP y un código numérico que especifica el grado de protección. El primer dígito representa una protección limitada contra el ingreso de polvo (sin depósitos perjudiciales). El segundo dígito representa una protección contra salpicaduras de agua desde cualquier dirección.

Estructuras de montaje

En la mayoría de los sistemas de riego con energía solar, los paneles fotovoltaicos se instalan en campo abierto, por lo que requieren una estructura de montaje robusta y resistente a la intemperie. Los sistemas de montaje de calidad constan de perfiles de acero galvanizado o aluminio. Para el montaje de los paneles fotovoltaicos y perfiles deberían utilizarse soportes, tornillos, arandelas y tuercas diseñados especialmente a tal efecto (con

ello se contribuye también a reducir el riesgo de robo; un aspecto que debería figurar entre los criterios de evaluación). A fin de evitar la corrosión galvánica, es importante seleccionar materiales con potenciales de corrosión similares, o aislar los metales para que no hagan contacto uno con otro.

Controlador/inversor de la bomba

Los controladores modernos deben incorporar componentes de electrónica de potencia de alta eficiencia, y utilizar la tecnología de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés) para maximizar la utilización de la potencia producida por el generador solar. Entre otras características adicionales dirigidas a incrementar la fiabilidad del sistema debería figurar la protección contra un voltaje excesivo o deficiente, así como la protección contra la inversión de la polaridad, la sobrecarga y temperaturas demasiado elevadas.

Unidad motor/bomba

Las bombas de agua solares deben construirse de acero inoxidable no corrosivo. Dado que los niveles de eficiencia global de los motores de CC (sin escobillas, con conmutación electrónica) tienden a ser mayores que los de CA de tamaño comparable, los motores de CC son con frecuencia la primera elección de los fabricantes de bombas solares de calidad. Algunas bombas solares aún se equipan con motores relativamente baratos de CC con escobillas. La principal desventaja de los motores con escobillas es que éstas están sujetas a desgaste y deben reemplazarse a intervalos regulares (aproximadamente cada dos años). Por ello, y atendiendo a la fiabilidad del sistema, **no se recomienda el uso de motores de corriente continua con escobillas**, dado que no puede garantizarse su mantenimiento regular en zonas apartadas de países en desarrollo. Como se mencionó en el módulo **INFORMATE**, existe también la posibilidad de usar motobombas convencionales en CA en conjunto con inversores para

bombeo. Estas unidades tienen normalmente valores de eficiencia menores, pero destacan por sus costos de inversión más económicos.

Sistema de distribución de agua

Las tecnologías de riego que ahorran agua y trabajan con presiones de operación comparativamente bajas son la opción preferida para el uso de bombas solares. Para evaluar la aptitud de los sistemas de distribución es importante conocer sus características hidráulicas. Los detalles los debe proporcionar el proveedor/instalador. De particular interés son el desempeño en condiciones de baja presión de operación (p. ej., en horas tempranas de la mañana y al caer el sol) y la uniformidad de la distribución del agua a través del terreno.

Tras una primera evaluación técnica

- Se tratan los resultados con otros expertos y expertas técnicos (asesores y asesoras agrícolas, institutos de investigación, etc.).
- Se someten a comparación los precios y los servicios conexos cotizados por proveedores que ofrecen productos similares.
- Los proveedores que presenten las mejores cotizaciones/ofertas son invitados a una presentación y negociación individuales.

RESULTADO / PRODUCTO

- Comparación estructurada de cotizaciones/ofertas elegibles;
- clasificación de las cotizaciones/ofertas;
- invitación a los potenciales proveedores/instaladores a una reunión para presentar y negociar sus propuestas.

DATOS REQUERIDOS

- Cotizaciones/ofertas con inclusión de los aspectos técnicos y financieros;
- lista de precios por unidad;

- certificados de calidad y seguridad;
- fichas técnicas de los componentes del sistema;
- características hidráulicas del sistema de riego;
- información sobre la garantía y los servicios posventa.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras;
- proveedores de servicios agrícolas;
- proveedores/instaladores.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Preferir siempre los sistemas de alta calidad que ofrezcan la mejor relación calidad/precio.
- No reducir nunca los costos a expensas de la calidad del sistema o de los servicios de apoyo.
- Se recomienda la suscripción de un contrato de mantenimiento entre el productor o productora y el proveedor de servicios, aunque esta no es una práctica muy común.
- Son preferibles —aunque aún muy difíciles de hallar— las soluciones llave en mano para la instalación del sistema.

9. CONTRATAR UN PROVEEDOR

Como último paso, se selecciona al mejor proveedor de sistemas con base en consideraciones de costo-calidad. Para ello, el productor o productora, el proveedor de servicios agrícolas y los candidatos y candidatas preseleccionados celebran una reunión en la que se deben abordar los siguientes puntos:

- presentación detallada de la oferta y de la experiencia en materia de SPIS por el proveedor;
- explicación del procedimiento de diseño y las herramientas a emplear (p. ej., dimensionamiento asistido por ordenador);
- certificados de calidad y seguridad del producto;
- garantía, servicios posventa y suministro de piezas de recambio (p. ej., contratos de mantenimiento);
- negociación final del precio, de ser necesario;
- calendario de ejecución;
- términos del contrato y condiciones de pago.

El contrato se firmará solo una vez que se hayan aclarado todas las cuestiones pendientes.

En las **negociaciones** con el proveedor, es importante:

- definir los objetivos;
- identificar los ámbitos de negociación;
- buscar situaciones de mutuo beneficio;
- hacer propuestas realistas;
- aclarar malentendidos;
- hacer un resumen final.

RESULTADO / PRODUCTO

- Proveedor final que ofrece la mejor relación costo/calidad;
- contrato de suministro, incluidos servicios posventa.

DATOS REQUERIDOS

- Cotizaciones/ofertas técnicas y financieras;
- candidatos y candidatas preseleccionados;
- comparación estructurada de las ofertas elegibles;
- aclaración de las cuestiones pendientes durante la negociación.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras;
- proveedores de servicios agrícolas;
- proveedores/instaladores.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Las cotizaciones/ofertas se apartan con frecuencia de las especificaciones técnicas.
- Entre los y las oferentes existen diferencias significativas en cuanto a los servicios y la garantía.
- El cronograma de ejecución debe ser definitivo y contar con la aprobación de las partes.
- Negociar con el proveedor.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Enlaces

Alfredson, T. & Cungú, A. (2008): Negotiation Theory and Practice. A Review of the Literature. FAO. Recuperado de http://www.fao.org/docs/up/easypol/550/4-5_negotiation_background_paper_179en.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Land & Water. Recuperado de <http://www.fao.org/land-water/en/>

GRUNDFOS. Recuperado de <http://de.grundfos.com/>

El software de dimensionamiento de Grundfos se denomina WebCAPS, y puede consultarse en <http://net.grundfos.com/App/WebCAPS>. Funciona solo para los productos bombas de sondeo, rango SQF, de la empresa, aunque el sitio da la opción de seleccionar bombas de superficie.

Irrigation Association (2017): Irrigation Glossary. Recuperado de <http://www.irrigation.org/IAGlossary>

LORENTZ: Submersible Solar Pumps. Recuperado de <https://www.lorenz.de/products-and-technology/pump-types/submersible-solar-pumps>

NASA (2016): Surface meteorology and Solar Energy. Con la cooperación de Atmospheric Science Data Centre. Recuperado de <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>

Herramientas de SPIS

DISEÑA – Plantilla para la recogida de datos

DISEÑA – Herramienta de cálculo del bombeo

DISEÑA – Lista de verificación para la determinación de la aptitud de SPIS

También son relevantes las siguientes herramientas asociadas a otros módulos:

SALVAGUARDA EL AGUA – Herramienta de cálculo de necesidades de agua

RIEGA – Herramienta de suelos

INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización

INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico

GLOSARIO

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.
Coefficiente 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

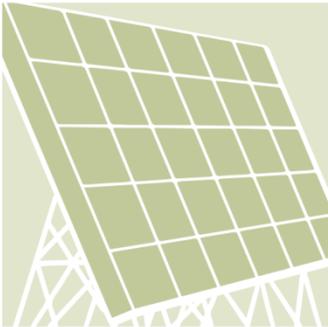
	como porcentaje. La mayoría de los sistemas tienen una eficiencia de alrededor de 16 %, lo que significa que el 16 % de la energía lumínica es convertido en electricidad.
Emisor	Pequeño dispositivo dispensador de microirrigación, diseñado para disipar la presión y descargar un flujo reducido y uniforme 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 fertirrigación)	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° en el ecuador a 90° (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	Expresa la cantidad de agua que requiere el sistema de riego. [mm]
Necesidades de agua de los cultivos	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	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 potencia 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 ²].
Riego de superficie	Método de irrigación que utiliza la superficie del suelo para transportar el agua mediante el flujo por gravedad desde la

	<p>fuente a las plantas. Los siguientes son métodos comunes de riego de superficie:</p> <p>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</p> <p>Riego por compartimientos (bancales o eras) – el agua es aplicada a una superficie completamente nivelada rodeada por diques</p> <p>Riego por inundación – el agua es aplicada a la superficie del suelo sin controles de flujo, tales como surcos o crestas.</p>
Riego por goteo	<p>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”.</p>
Salinidad (salino)	<p>La salinidad hace referencia a la cantidad de sales disueltas en el agua del suelo.</p>
Seguimiento del punto de máxima potencia, MPPT	<p>Es un circuito electrónico dentro del inversor que deja operar el generador solar en el punto de máxima potencia eléctrica.</p>
Transpiración	<p>Agua captada por las raíces de las plantas y transpirada por las hojas. [mm]</p>
Tubos laterales	<p>Tubo(s) que van de las válvulas de control a los aspersores o tubos emisores de gotas.</p>
Viabilidad financiera	<p>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 INVIERTE).</p>
Voltaje (U o V)	<p>Voltaje o tensión eléctrica es el potencial existente entre dos puntos, o la diferencia de carga entre dos puntos, expresado en voltios [V].</p>
Zona radicular	<p>Profundidad o volumen de suelo del que las plantas extraen agua con eficacia. [m]</p>

POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 8: Montaje

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

Descargar

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.

Implemented by

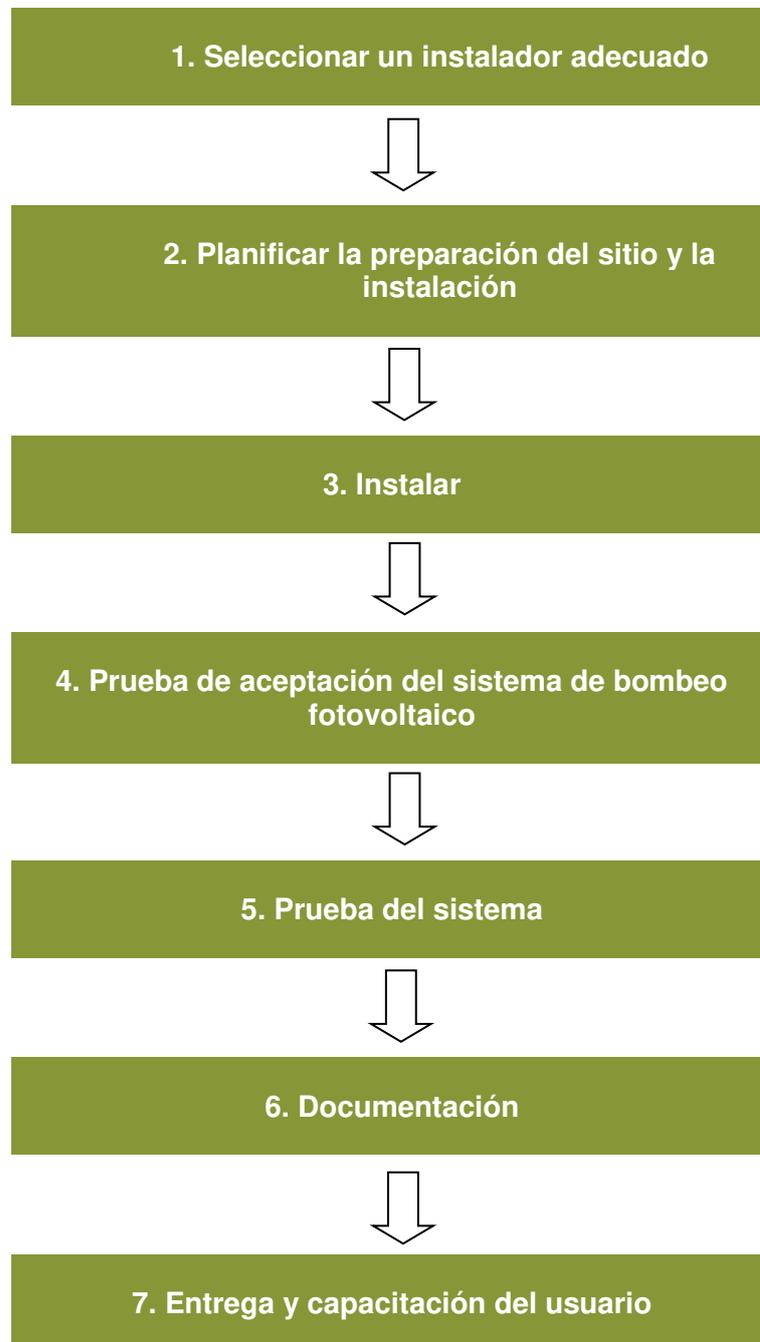
© GIZ y FAO, 2018

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

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 _T	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 ²	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
Vd	Daily crop water requiremente (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

MONTAJE



OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

El presente módulo resume los pasos necesarios para la instalación del sistema de riego con energía solar una vez completados el diseño del SPIS y la selección del proveedor de tecnología (v. módulo **DISEÑA**). La instalación de un sistema de riego es un proceso que requiere planificación y toma de decisiones por parte del productor o productora, dado que deberá llevarse a cabo atendiendo a preferencias y requisitos de operación establecidos. Este módulo describe los pasos pertinentes del proceso que culminará con la instalación definitiva del sistema, partiendo del supuesto de que el proveedor de tecnología no es necesariamente el proveedor de los servicios de instalación del SPIS.

PPASOS DEL PROCESO

Con la firma de un contrato o una orden de compra con un proveedor de tecnología se han tomado todas las decisiones en lo que respecta a los componentes del sistema. La cotización u oferta del proveedor debe incluir un plano de disposición del sistema en el que se describen los requisitos específicos de instalación. Con frecuencia no es el productor o productora quien realiza los trabajos de instalación, sino que estos se confían a un instalador o instaladora cualificado que ensambla y monta los componentes del sistema como corresponde. Una instalación de buena calidad sienta las bases para un funcionamiento fiable del SPIS que tenga en cuenta las condiciones específicas del sitio. El proceso de instalación requiere del futuro usuario o usuaria (esto es, del cliente o clienta del SPIS o el agricultor o agricultora) una participación activa en la toma de decisiones.

La instalación del sistema comienza eligiendo un proveedor de servicios apropiado. A continuación, habrá que

hacer una planificación detallada de los trabajos necesarios. En la planificación de la instalación se tomarán en consideración todos los requisitos planteados por el productor o productora y el instalador o instaladora. Una vez instalados los componentes del sistema, se deberán poner a prueba su funcionamiento correcto y el desempeño global del sistema.

El productor o productora, como futuro usuario o usuaria del sistema, debe seguir muy de cerca este proceso para asegurarse de que el SPIS se ha instalado de conformidad con la planificación acordada, y también para comprender su funcionamiento. Una vez terminada la instalación, el productor o productora debe insistir en que se le entregue la documentación apropiada y en recibir una introducción en la operación del sistema.

1. SELECCIONAR UN INSTALADOR ADECUADO

Al seleccionar al proveedor de tecnología se debe ya pensar en la instalación. Los proveedores de equipos deben especificar si la instalación del sistema está incluida en sus cotizaciones. Si está incluida en el contrato de compra de los componentes del sistema, el proveedor designará un instalador o instaladora.

Si los proveedores de tecnología no realizan la instalación directamente, deberían recomendar un instalador o instaladora cualificado, para el cual habrá que firmar un contrato por separado para los servicios de instalación. Para ello, se hará una preselección de instaladores e instaladoras cualificados, y se pedirá a los candidatos y candidatas que presenten sus cotizaciones u ofertas a fin de evaluarlas y tomar una decisión final (v. módulo **DISEÑA**).

Los instaladores o instaladoras se elegirán teniendo en cuenta su cualificación general y sus conocimientos de los productos específicos (componentes del sistema) por los que ha optado el productor o productora. Las condiciones de garantía de algunos proveedores de tecnología solo permiten que la instalación sea llevada a cabo por instaladores o instaladoras certificados, y por tanto los proveedores de tecnología deben recomendar proveedores de servicios certificados.

Para realizar una oferta, el instalador o instaladora visita el sitio y, junto con el productor o productora, examina la instalación prevista.

A la hora de seleccionar instaladores o instaladoras apropiados, se debe

- verificar si el proveedor de tecnología está en condiciones de recomendar un instalador cualificado de sus redes de trabajo;
- verificar si el instalador o instaladora está habilitado para

instalar los componentes del sistema/marcas adquiridos;

- verificar la experiencia del instalador o instaladora en relación con instalaciones realizadas en la zona (lista de referencias, otros productores y productoras);
- obtener claridad sobre los servicios posteriores a la instalación ofrecidos por los instaladores o instaladoras y su disponibilidad para el mantenimiento, la solución de problemas y reparaciones.

RESULTADO / PRODUCTO

- Preselección de instaladores e instaladoras cualificados;
- cotizaciones/ofertas de servicios de instalación;
- selección de un instalador o instaladora basada en la relación costo/calidad;
- contrato de servicios de instalación.

DATOS REQUERIDOS

- Lista de instaladores o instaladoras cualificados y certificados proporcionada por el proveedor de tecnología;
- disposición del sistema y descripción de los componentes del mismo (establecidas en el contrato con el proveedor de tecnología);
- lista de precios por unidad (cotizaciones/ofertas de los instaladores o instaladoras);
- información sobre los servicios posteriores a la instalación.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor/instalador (proveedor de tecnología);

- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La instalación puede estar incluida en el contrato de compra de los componentes del sistema; pero puede ser también que haya que contratarla por separado.
- Puede no ser factible que el mismo instalador o instaladora sea capaz de instalar el generador fotovoltaico, la motobomba, el tanque de almacenamiento y el sistema de riego.
- La garantía de los componentes del sistema depende de que la instalación sea realizada por un proveedor de servicios cualificado y certificado.
- Se recomienda trabajar con un instalador o instaladora que pueda prestar también servicios de mantenimiento, solución de problemas y reparación.

2. PLANIFICAR LA PREPARACIÓN DEL SITIO Y LA INSTALACIÓN

El instalador o instaladora seleccionado deberá tener en cuenta las condiciones específicas del sitio en su cotización u oferta. En este paso del proceso, ya tendría que haber tomado nota de los puntos de vista del productor o productora en lo que respecta a la ubicación, la distribución espacial y la protección del sistema previsto. Una vez firmado el contrato de servicios de instalación, se hará una planificación detallada de la instalación.

Para ello, puede que se requieran una nueva visita al terreno y un examen de todos los aspectos relevantes junto con el productor o productora.

El objetivo de la planificación de la instalación es:

- verificar el acceso al sitio y las condiciones de almacenamiento de los materiales;
- determinar la localización y la distribución espacial exactas de los componentes del sistema (generador fotovoltaico, bomba de agua, unidades de control, tanque de almacenamiento de agua, red de distribución del agua, tuberías de riego);
- evaluar las condiciones específicas del sitio que tienen relevancia para la instalación (condiciones de suelo/subsuelo, perfil de superficie, fuente de agua, riesgos en materia de seguridad);
- identificar los trabajos preparatorios (desmantelamiento de antiguas instalaciones, limpieza /rehabilitación del pozo y pruebas de bombeo, movimiento de tierras, despeje del sitio, preparación del campo);
- planificar los trabajos preparatorios y la instalación;
- identificar medidas preventivas de salud y seguridad.

Una buena planificación antes de la instalación contribuye a evitar demoras en el proceso de instalación, dado que los trabajos preparatorios y de instalación pueden programarse para su realización consecutiva. Es posible también que el productor o productora tenga ciertas ideas particulares respecto a la ubicación, la distribución espacial y la protección del futuro sistema que el instalador o instaladora deberá tener en cuenta antes de juntar y montar los componentes. Las condiciones específicas del sitio, tales como la exposición a fuertes vientos, inundaciones, animales vagabundos y los riesgos de robo y vandalismo (v. **INFORMATE**, estructura de montaje), son factores que influyen en la instalación y en los materiales a utilizar (tuercas de seguridad, aerosol, juntas, etc.).

La planificación de la instalación debe tener en cuenta el calendario de cultivos y el plan de trabajo agrícola específico de la explotación (v. **DISEÑA**, paso 2 del proceso). Los trabajos de instalación no deberían entorpecer innecesariamente la rutina de producción de la explotación.

De necesitarse más de un instalador o instaladora (p. ej., uno para el sistema de bombeo solar y otro para el sistema de riego), esta circunstancia deberá tenerse en cuenta en la planificación. Los diferentes instaladores o instaladoras deben trabajar de manera coordinada.

Muchas veces se subestiman los recursos de terreno necesarios para establecer el SPIS. Los generadores fotovoltaicos y el tanque de almacenamiento de agua (de formar parte del sistema) ocuparán un terreno que de otro modo estaría disponible para cultivos. Los componentes del sistema deben distribuirse en el espacio de manera que los paneles solares no se vean afectados por la sombra producida por otros componentes, o de forma que haya suficiente espacio para

poder llegar a elementos del sistema que necesiten mantenimiento.

Nota: Los instaladores estiman que para asegurar el buen funcionamiento y mantenimiento de los paneles solares se debería reservar una superficie aproximadamente dos veces mayor que la que ellos ocupan. Ello es necesario a fin de dejar espacio para el cercado y permitir la circulación por la instalación cuando haya que realizar tareas de mantenimiento, así como para reducir el impacto de sombras.

La cooperación entre el productor o productora y el instalador o instaladora en la labor de planificación permitirá también que ambas partes lleguen a un claro entendimiento común del proceso de entrega del sistema, y facilitará la tarea de capacitar al usuario o usuaria tras la entrega.

RESULTADO / PRODUCTO

- Localización de cada componente del sistema;
- lista de trabajos/requisitos preparatorios;
- calendario de trabajos preparatorios y de la instalación;
- calendario de entrega del sistema y de capacitación del usuario o usuaria.

DATOS REQUERIDOS

- Plano de instalación del sistema (establecido en el contrato con el proveedor de tecnología);
- datos sobre el estado del pozo/fuente de agua;
- datos sobre las condiciones del suelo/subsuelo.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La planificación de la implementación requiere que el instalador o instaladora visite el sitio y lo examine conjuntamente con el agricultor o agricultora.
- Se deben tener en cuenta las condiciones y riesgos específicos del sitio.
- La instalación requiere recursos de terreno.
- Antes de proceder a la instalación deben identificarse los trabajos preparatorios que haya que realizar.
- Los trabajos preparatorios deben concluirse antes de proceder a la instalación.
- La planificación de la instalación debe incluir un calendario de entrega del sistema y capacitación del usuario o usuaria.
- Puede que haya que coordinar el trabajo de varios instaladores e instaladoras.



Un instalador visita el sitio de un SPIS en Tamalé, Ghana (Fuente: Lennart Woltering)

3. INSTALAR

La instalación de los diferentes componentes del sistema de riego con energía solar será llevada a cabo por un instalador o instaladora profesional contratado o contratada a tal efecto. El instalador o la instaladora procederá de acuerdo con la disposición y las especificaciones técnicas del sistema proporcionadas por el proveedor de servicios tecnológicos (instalador, proveedor), y teniendo en cuenta las opiniones del productor o productora en lo que respecta a la ubicación y la distribución espacial.

El instalador o la instaladora requerirá temporalmente acceso al sitio, y un espacio de ensamblaje y almacenamiento para descargar y ensamblar los componentes del sistema. Los productores y productoras deben tener esto en cuenta, sobre todo cuando se trata de pequeñas explotaciones en las que escasean los espacios sin cultivar.

El tiempo real requerido para ensamblar, montar y conectar los diferentes componentes de un SPIS depende del tamaño del sistema y las condiciones del sitio. Puede que el instalador o instaladora tenga que llevar a cabo el proceso de instalación en varias etapas. Un trabajo parcial que consume mucho tiempo es el de establecer una buena cimentación para la estructura de montaje de los paneles solares y el tanque de almacenamiento de agua (de ser parte del sistema).

Estas obras de cimentación se realizan a menudo con hormigón armado, y podrían requerir trabajos previos de excavación y tiempo de curación del cemento después del vaciado.

Es muy importante que el productor o productora y, de ser posible, también el asesor o la asesora agrícola se tomen el tiempo para estar presentes durante la instalación del sistema, a fin de:

- estar disponibles para proporcionar información y tomar decisiones;
- verificar que se instalen todos y cada uno de los componentes;
- comprender mejor los diferentes componentes del sistema, sus particularidades y la ubicación de las conexiones, interruptores, etc. (¡hacer preguntas!);
- vigilar que la instalación se ajuste a la disposición, los planos y el calendario establecidos (conformidad de los componentes), o tomar nota de cualquier desviación debida a circunstancias imprevistas.

RESULTADO / PRODUCTO

- Sistema de riego con energía solar completo.

DATOS REQUERIDOS

- Plano de instalación del sistema (establecido en el contrato con el proveedor de tecnología);
- lista de componentes y presupuestos;
- planificación de la instalación.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Se debe poner espacio temporalmente a disposición para el acceso al sitio, almacenamiento de material y ensamblaje de los componentes.
- Puede que la instalación deba llevarse a cabo en etapas en caso

de que haya que realizar obras de cimentación, etc.

- El productor o productora debe estar presente durante la instalación para acompañar y vigilar el proceso.



Instalación de un sistema de riego por goteo
(Fuente: Lennart Woltering)

4. PRUEBA DE ACEPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

Una vez finalizada la instalación, se deberá ensayar el funcionamiento y el desempeño del sistema en presencia del futuro usuario o usuaria (el productor o productora). El ensayo comprende una serie de análisis separados. El primer paso es la prueba de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico, que involucra al generador fotovoltaico, el sistema de montaje y seguimiento (de ser parte del sistema), el controlador y la motobomba de agua. Estos componentes representan el “motor” del SPIS, y su desempeño es vital para el aprovechamiento óptimo del sistema de riego.

Esta prueba de aceptación (denominada también “prueba de aceptación del sitio [SAT, por sus siglas en inglés]) constituye el segundo nivel de prueba de equipos en términos de la gestión de calidad. Los fabricantes de componentes de sistemas están obligados a realizar un “ensayo de aceptación en fábrica” (FAT, por sus siglas en inglés), antes de entregar los productos a los distribuidores. A la hora de evaluar un SPIS, lo ideal sería que se presentasen ambos niveles de ensayo, pero esto no siempre es fácil de conseguir.

La prueba de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico comprende los siguientes pasos principales:

- verificación visual de los componentes principales y sus uniones/conexiones;
- verificación visual del cableado y el aislamiento;
- verificación mecánica del sistema de montaje y seguimiento;
- verificación funcional de la motobomba fotovoltaica;
- verificación funcional del controlador electrónico/inversor de la motobomba fotovoltaica;
- existencia de la documentación del sistema (hojas de datos técnicos,

plano del cableado eléctrico, procedimientos operativos);

- medición de la irradiación solar, la potencia eléctrica, la carga de bombeo y el flujo de agua para poder establecer la diferencia entre el flujo calculado y el flujo real medido.

Las mediciones suelen llevarse a cabo conforme al siguiente orden:

Medición de la irradiación solar --> cálculo de la potencia eléctrica producida --> medición y cálculo de la altura total de bombeo --> medición del flujo real de agua ---> comparación entre el flujo de agua medido y el flujo de diseño

Las diferentes mediciones deben efectuarse dentro de un intervalo de tiempo breve y en condiciones de cielo despejado. Es aconsejable realizar como mínimo dos pruebas de aceptación, una con niveles de irradiación solar alta (800 – 1.000 W/m²), y otra con niveles de irradiación solar baja (aprox. 500 W/m²). Los equipos necesarios para el ensayo serán facilitados por el instalador.

Importante: Verificar la estanqueidad de sellados y juntas y el ajuste de tornillos y pernos.

Verificar si existen indicaciones de corrosión, y grietas en el hormigón de cimentación.

Verificar si existen filtraciones en tuberías y accesorios.

Registrar eventuales deficiencias y fallos de funcionamiento y aclararlos con el instalador o instaladora para que los repare.

Los resultados de la prueba de aceptación deben compararse con el desempeño del sistema de bombeo fotovoltaico previsto en el diseño. La herramienta **DISEÑA –**

Herramienta de cálculo del bombeo

puede utilizarse para registrar los datos más importantes y compararlos con los valores de diseño. El protocolo de la prueba de aceptación será firmado por el instalador o instaladora y el productor o productora.

La herramienta **MONTAJE – Prueba de aceptación** ofrece más detalles sobre los pasos a dar, el equipo requerido y los cálculos a efectuar para llevar a cabo la prueba de aceptación.

RESULTADO / PRODUCTO

- Prueba completa de aceptación del sistema de bombeo de agua fotovoltaico;
- comparación del desempeño real y el desempeño de diseño;
- protocolo de la prueba de aceptación;
- **MONTAJE – Prueba de aceptación.**

DATOS REQUERIDOS

- Resultados de la medición de la irradiación solar, la altura total de bombeo y el flujo de agua;
- potencia eléctrica calculada, altura total de bombeo según diseño y flujo de agua según diseño;
- observaciones de la verificación visual.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La prueba de aceptación *in situ* es obligatoria para verificar si el desempeño del sistema de bombeo fotovoltaico corresponde al diseño.

- La prueba debe realizarla el instalador o instaladora en presencia del productor o productora y teniendo en cuenta todos los criterios relevantes.
- La prueba requiere condiciones de cielo despejado, y que se realicen como mínimo dos mediciones.
- Se recomienda una inspección minuciosa de todas las partes mecánicas.



Midiendo la irradiación solar durante la prueba de aceptación *in situ*

(Fuente: Reinhold Schmidt)

5. PRUEBA DEL SISTEMA

Una vez ensayado el sistema de bombeo fotovoltaico, se deberá verificar y ensayar el funcionamiento de los otros componentes del sistema, así como el funcionamiento del sistema en su conjunto. Este paso de la prueba debe regirse por los mismos principios que la prueba precedente de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico. Se pondrán a prueba, como mínimo, los siguientes elementos:

- dispositivos de control de la extracción y la descarga de agua (contadores de agua);
- válvulas de distribución, tuberías de distribución y conectores;
- reservorios y filtros (de formar parte del sistema);
- tuberías de riego y dispositivos de riego (emisores, miniaspersores), haciendo una prueba de aplicación uniforme del agua (v. la herramienta **MANTENIMIENTO – Guía sobre la aplicación uniforme del agua**).

La prueba del sistema para los componentes mencionados comprende:

- Verificaciones visuales (pernos, tornillos, etc.);
- verificación mecánica de los soportes de montaje del tanque y tuberías;
- verificación funcional de la distribución y descarga del agua, así como del tanque de almacenamiento y el filtrado del agua;
- existencia de la documentación del sistema (hojas de datos técnicos, esquema hidráulico, procedimientos operativos);
- medición de la entrada de presión de agua y la distribución de la presión en todas las secciones del sistema y la descarga de agua.

Las mediciones suelen llevarse a cabo “de la cabeza a los pies”, empezando por la liberación de agua al conducto de suministro (al estanque de almacenamiento o inyección directa) y terminando con las bocas de lavado de las tuberías de riego. Se deben realizar mediciones de presión en todas las uniones/nodos de distribución del sistema a fin de evaluar la distribución hidráulica en todas las secciones. Estas mediciones deben tener en cuenta las variaciones de presión durante el día causadas por la fluctuación de los niveles de irradiación solar. Los resultados deben documentarse como perfil hidráulico del sistema de riego.

Calibración: La descarga de agua a las estaciones de riego debe calibrarse a fin de gestionar de manera eficiente la distribución de agua a los cultivos. Entre las diferentes estaciones de riego pueden existir diferencias de presión, y en un sistema de bombeo fotovoltaico carente de tanque de almacenamiento elevado las entradas de presión varían, haciendo que la descarga de agua de los dispositivos de riego difiera de una estación a otra en el transcurso del día. La descarga de agua de los dispositivos de riego debe medirse a diferentes horas del día a fin de calcular la descarga real de agua, que luego podrá gestionarse variando el intervalo de riego por unidad de superficie.

Nota: Esta medida de calibración es una actividad que requiere mucho tiempo.

El hecho de que existan diferencias considerables entre los cálculos de diseño y el desempeño real puede ser señal de un diseño deficiente (achacable a la recogida de datos o a la mala elección de los componentes) o de un trabajo de instalación deficiente. La calidad del trabajo de instalación tiene una influencia directa en el desempeño y la sostenibilidad del sistema, y una mala instalación de equipos de excelente calidad puede afectar el funcionamiento completo del sistema. La

herramienta **MONTAJE – Lista de verificación de la calidad del trabajo de instalación** incluye varios indicadores de la calidad de instalación agrupados en diferentes categorías. El objetivo es evaluar si la calidad de la instalación está en consonancia con las buenas prácticas, los requisitos de seguridad y la sostenibilidad global de la instalación.

RESULTADO / PRODUCTO

- Prueba del sistema para el sistema de riego completada;
- comparación del desempeño real y el desempeño de diseño;
- protocolo de la prueba del sistema;
- perfil hidráulico del sistema de riego;
- datos de la descarga de agua para todas las secciones de riego.

DATOS REQUERIDOS

- Resultados de la medición de la presión y la descarga de agua en todas las secciones de riego;
- valores calculados de la presión del sistema y la descarga de agua;

- observaciones de la verificación visual.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La prueba del sistema *in situ* es obligatoria para verificar si el desempeño del sistema de riego está a la altura del rendimiento previsto en el diseño.
- La prueba debe realizarla el instalador o instaladora en presencia del productor o productora.
- La prueba debe incluir mediciones de la presión y la descarga de agua en todas las secciones de riego.
- La calibración del sistema de descarga del agua de riego es importante para poder gestionar de manera eficiente la distribución de agua a los cultivos.



Medición del flujo de agua
(Fuente: Reinhold Schmidt)

6. DOCUMENTACIÓN

Un SPIS consta de múltiples componentes, cada uno de los cuales tiene especificaciones técnicas y requisitos de operación y mantenimiento particulares. De hecho, algunas tecnologías mecánicas y eléctricas pueden sufrir desperfectos si no se manejan correctamente. La operación cuidadosa del sistema no solo previene fallos y costosas reparaciones, sino que asegura también un tiempo de vida más prolongado del sistema. Si bien existen hojas de datos técnicos e instrucciones para la instalación de la mayoría de los componentes individuales de un SPIS, es raro encontrar manuales de operación que cubran el sistema en su integridad. Dado que los SPIS se diseñan para casos individuales, los manuales de operación y mantenimiento deberían adaptarse a las necesidades de los usuarios y usuarias particulares.

El proveedor y el instalador o instaladora deben proporcionar una documentación exhaustiva del sistema y sus requisitos de operación y mantenimiento durante las pruebas de aceptación y del sistema o a la hora de la entrega final del sistema. Esto debe acordarse con el proveedor de tecnología y/o el instalador o instaladora durante la negociación del contrato.

La documentación debe cubrir los siguientes aspectos principales:

- plano de disposición del sistema que abarque todos los componentes de la fuente de agua, el sistema de bombeo, el almacenamiento de agua y el sistema de riego (y planos de conexiones y cableado);
- hojas de datos técnicos de todos los componentes del sistema, incluido un registro de los números de serie de módulos y otros componentes; por ejemplo, para reivindicar la propiedad al presentar una reclamación de seguro;

- directrices de operación para todos los componentes del sistema;
- información sobre la garantía e instrucciones y programas de mantenimiento para todos los componentes del sistema;
- instrucciones de seguridad, advertencias de riesgo para la salud y procedimientos de emergencia;
- datos de contacto de servicios de mantenimiento/repación, servicios de asistencia, etc.

Idealmente, el manual de operación incluye también información sobre las repercusiones negativas de la extracción excesiva de agua sobre el medioambiente. Un sistema de riego diseñado de manera sistemática funciona respetando el principio de extracción sostenible de agua y de acuerdo con la disponibilidad de los recursos hídricos y los correspondientes derechos/permisos de agua.

RESULTADO / PRODUCTO

- Documentación de todos los componentes del SPIS, incluidas especificaciones técnicas, planos de conexiones/cableado, instrucciones de seguridad, procedimientos de emergencia e información en materia de mantenimiento;
- manual de operación del sistema;
- datos de contacto/servicios de asistencia en casos de emergencia.

DATOS REQUERIDOS

- Especificaciones técnicas de los componentes del SPIS.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;

- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La documentación de todos los componentes del sistema debe ser completa y comprensible.
- Las instrucciones de seguridad y en casos de emergencia deben

estar indicadas con claridad y fijadas en un lugar visible del componente respectivo del sistema.

- El instalador o instaladora debe proporcionar un manual de operación con todos los procedimientos e informaciones pertinentes.

7. ENTREGA Y CAPACITACIÓN DEL USUARIO

El paso final del proceso de instalación es la entrega formal del SPIS al usuario o usuaria (el productor o la productora). La entrega se combina normalmente con una introducción detallada a todos los aspectos técnicos del sistema y un adiestramiento práctico en el funcionamiento del mismo, previsto en su diseño. Este paso debe planificarse minuciosamente, dado que el usuario o usuaria debe tener suficiente tiempo para examinar, junto con el instalador o la instaladora, todos los componentes del sistema y todos los aspectos relacionados con su operación y mantenimiento.

Antes de dar este paso, deben haberse cumplido todos los demás requisitos, en particular las pruebas de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico y del sistema, y la documentación del sistema. Lo ideal es que el usuario o usuaria haya podido acompañar y seguir el proceso completo de instalación, incluidos los pasos de pruebas. Así, habrá adquirido ya buenos conocimientos sobre el sistema, y habrá tenido la oportunidad de familiarizarse con sus principales características técnicas y operativas.

En las etapas de pruebas del proceso de instalación se han identificado y registrado defectos o problemas de calidad, y el instalador o instaladora y el usuario o usuaria han llegado a un acuerdo sobre cómo y cuándo se corregirán tales defectos. Esto ha quedado establecido en los protocolos de las pruebas. La entrega del sistema no debe tener lugar antes de que se hayan llevado a cabo todas las reparaciones y enmiendas.

Normalmente, la entrega y las actividades de capacitación e instrucción correspondientes tienen lugar durante la realización de una prueba final del sistema. Esto no debe entenderse como un ejercicio teórico de sala de clases. El material de apoyo de la capacitación debe incluir las directrices de operación y el manual que se

entregan como parte de la documentación del sistema.

Son características importantes de la orientación y capacitación:

- una introducción a los aspectos específicos de todos los componentes del sistema;
- funcionamiento del sistema en condiciones diferentes; en particular, gestión de la distribución de agua a los cultivos basada en la gestión de la presión y la duración del suministro;
- precauciones de seguridad y protección de los componentes del sistema;
- riesgos para la salud y el medioambiente;
- procedimientos de emergencia;
- trabajos y programas de mantenimiento.

La entrega concluye con la firma de un protocolo de entrega en el que constan el estado del sistema y todas las actividades llevadas a cabo para instruir y capacitar al productor o productora.

RESULTADO / PRODUCTO

- Protocolo de entrega.

DATOS REQUERIDOS

- Datos de la prueba de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico y de la prueba del sistema;
- documentación y manual de operación del sistema.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La entrega solo debe tener lugar si el sistema funciona perfectamente y se han subsanado todas las deficiencias.
- La entrega debe ir acompañada de una introducción práctica y

capacitación del usuario o usuaria que incluya información sobre precauciones de seguridad, protección del sistema y riesgos.

- Se debe preparar y firmar un protocolo de entrega.



SPIS provisto de un reservorio elevado, utilizado para riego dentro y fuera del invernadero

(Fuente: Lennart Woltering)

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Enlaces

Centre for Land and Water: Knowledge Resources for Primary Industry. Recuperado de <http://www.claw.net.nz/resources/irrigation/>

Hahn, A., Sass, J. & Fröhlich, C. (2015): Manual and tools for promoting SPIS. Multicountry - Stocktaking and Analysis Report. GFA Consulting Group. Recuperado de [actualmente en proceso de revisión]

Schultz, R. & Suryani, A. (2015): EnDev2 Indonesia: Inspection Guide for Photovoltaic Village Power (PVVP) Systems. Editado por la GIZ. Recuperado de https://energypedia.info/images/3/39/Inspection_Guide_for_PVVP_150524_%28GIZ_2015%29.pdf

Herramientas de SPIS

MONTAJE – Prueba de aceptación: pautas para comparar la capacidad instalada con la capacidad real de una bomba

MONTAJE – Lista de verificación de la calidad del trabajo de instalación: lista de verificación para inspeccionar la calidad del trabajo de instalación

También son relevantes las siguientes herramientas asociadas a otros módulos:

PROMUEVE – Herramienta de evaluación rápida de SPIS: sobre el análisis del mercado de prestación de servicios

DISEÑA – Herramienta de cálculo del bombeo: para verificar la prueba de aceptación de SPIS

MANTENIMIENTO – Guía para la aplicación uniforme del agua: que debería aplicarse inmediatamente después de crear el sistema

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

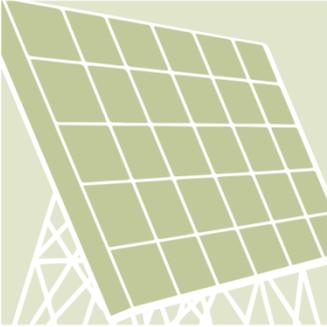
	como porcentaje. La mayoría de los sistemas tienen una eficiencia de alrededor de 16 %, lo que significa que el 16 % de la energía lumínica es convertido en electricidad.
Emisor	Pequeño dispositivo dispensador de microirrigación, diseñado para disipar la presión y descargar un flujo reducido y uniforme 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 fertirrigación)	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° en el ecuador a 90° (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	Expresa la cantidad de agua que requiere el sistema de riego. [mm]
Necesidades de agua de los cultivos	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	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 potencia 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 ²].
Riego de superficie	Método de irrigación que utiliza la superficie del suelo para transportar el agua mediante el flujo por gravedad desde la

	<p>fuente a las plantas. Los siguientes son métodos comunes de riego de superficie:</p> <p>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</p> <p>Riego por compartimientos (bancales o eras) – el agua es aplicada a una superficie completamente nivelada rodeada por diques</p> <p>Riego por inundación – el agua es aplicada a la superficie del suelo sin controles de flujo, tales como surcos o crestas.</p>
Riego por goteo	<p>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”.</p>
Salinidad (salino)	<p>La salinidad hace referencia a la cantidad de sales disueltas en el agua del suelo.</p>
Seguimiento del punto de máxima potencia, MPPT	<p>Es un circuito electrónico dentro del inversor que deja operar el generador solar en el punto de máxima potencia eléctrica.</p>
Transpiración	<p>Agua captada por las raíces de las plantas y transpirada por las hojas. [mm]</p>
Tubos laterales	<p>Tubo(s) que van de las válvulas de control a los aspersores o tubos emisores de gotas.</p>
Viabilidad financiera	<p>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 INVIERTE).</p>
Voltaje (U o V)	<p>Voltaje o tensión eléctrica es el potencial existente entre dos puntos, o la diferencia de carga entre dos puntos, expresado en voltios [V].</p>
Zona radicular	<p>Profundidad o volumen de suelo del que las plantas extraen agua con eficacia. [m]</p>

POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 9: Riega



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

Descargar

https://energypedia.info/wiki/Toolbox_on_SPIS

Acerca de

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

Versión

1.0 (abril 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 _T	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 ²	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 _d	Daily crop water requirement (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
W _p	vatios pico

DEFINICIONES

Acuífero	Formación(es) geológica(s) subterránea(s) que contiene(n) cantidades utilizables de aguas subterráneas 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 unos 6 metros, y debería minimizarse para obtener los mejores resultados. Esto se aplica solo a las bombas de superficie.
Bomba	<p>Convierte energía mecánica en energía hidráulica (presión y/o flujo).</p> <p>Bomba sumergible: una combinación de motor/bomba diseñada para ser instalada íntegramente por debajo de la superficie del agua.</p> <p>Bomba de superficie: bomba no sumergible que se instala a una altura no mayor de 6 metros por encima de la superficie del agua.</p>
Cabezal de riego	Unidad de control situado a la salida de la motobomba para regular la cantidad, la calidad y la presión del agua en un sistema de riego. Se suele acompañar y regular mediante diferentes tipos de válvulas, reguladores de presión, filtros y, posiblemente, un sistema de irrigación química (quimigación).
Carga, altura de bombeo	<p>Carga total, altura total de bombeo (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]</p> <p>Pérdida de carga: Pérdida de energía en el flujo del fluido. [m]</p>
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 fase 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.
Drenaje	La eliminación natural o artificial del excedente de las aguas superficiales o subterráneas y la sal disuelta del suelo con el fin de mejorar la producción agrícola. En caso de drenaje natural, el excedente de agua fluye desde los campos a los lagos, pantanos,

	arroyos y ríos. En un sistema artificial, el excedente de aguas subterráneas o superficiales se elimina mediante conductos subsuperficiales o superficiales.
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 tasa constante que no varía de forma significativa debido a pequeñas diferencias en la altura de presión. Conocido también como “gotero”.
Encharcamiento o estancamiento de agua	Es, en primera instancia, el resultado de un drenaje inadecuado y un exceso de riego y, en menor medida, de la filtración de agua de canales y acequias. El encharcamiento concentra sales, procedentes de las capas más bajas del perfil del suelo, en la zona radicular de las plantas.
Evaporación (E)	Se produce cuando el agua en estado líquido se convierte en vapor de agua y se elimina de la superficie de evaporación. Esta pérdida de agua en forma de vapor se produce desde la superficie del suelo o la vegetación húmeda. [mm, siendo 1 mm = 10 m ³ /ha]
Evapotranspiración (ET)	Pérdida de agua por la acción combinada de la evaporación y la transpiración; la evaporación y la transpiración se producen simultáneamente y no existe un método que permita distinguir fácilmente un proceso de otro. 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, siendo 1 mm = 10 m ³ /ha]
Flujo por gravedad	Utilización de la gravedad para producir presión y flujo de agua; por ejemplo, elevando el tanque de almacenamiento por encima del punto de uso, de manera que el agua fluya sin necesidad de bombeo.
Fotosíntesis	La fotosíntesis es el proceso utilizado por las plantas y otros organismos para convertir energía lumínica en energía química.
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".
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 fertirrigación)	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° en el ecuador a 90° (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	Expresa la cantidad de agua que requiere el sistema de riego. [mm, siendo $1\text{ mm} = 10\text{ m}^3/\text{ha}$]
Necesidades de agua de los cultivos	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	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, siendo $1\text{ mm} = 10\text{ m}^3/\text{ha}$]
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, siendo $1\text{ mm} = 10\text{ m}^3/\text{ha}$]

Pérdida por fricción	Pérdida de presión debido a la fricción del agua en el interior de una tubería. Depende del tamaño de la tubería (diámetro interno), la rugosidad de la tubería, los accesorios, 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)	Es la rapidez con que la energía es transportada por un circuito eléctrico expresada en vatios. La potencia depende de la cantidad de corriente y el voltaje del sistema. [W]
Presión	Medida de la fuerza presente en un sistema. Esta es la fuerza dividida por la sección 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 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 ²]
Riego	Término que hace referencia al riego de superficie, riego por aspersion y/o riego localizado.
Riego de superficie	<p>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:</p> <p>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</p> <p>Riego por compartimientos (bancales o eras) – el agua es aplicada a una superficie completamente nivelada rodeada por diques</p> <p>Riego por inundación – el agua es aplicada a la superficie del suelo sin controles de flujo, tales como surcos o crestas.</p>

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.
Salinización	Se produce cuando se utilizan aguas superficiales o subterráneas con contenido de sales minerales para regar cultivos, depositándose sales en la zona radicular. En el proceso de evapotranspiración, la sal se queda en el suelo, lo que aumenta su contenido de sal.
Seguimiento del punto de máxima potencia, MPPT	Es un circuito electrónico dentro del inversor que permite operar al generador solar en el punto de máxima potencia eléctrica.
Tenencia del agua	Hace referencia a los acuerdos formales e informales que determinan el modo en que las personas, las comunidades y las organizaciones acceden a y usan los recursos hídricos (FAO 2016b).
Tenencia de la tierra	Hace referencia a la relación, definida en forma jurídica o consuetudinaria, entre personas, en cuanto individuos o grupos, con respecto a la tierra (VGGT 2012).
Transpiración	Agua líquida captada por las raíces de las plantas, contenida en los tejidos de estas, y vaporizada o transpirada a la atmósfera mediante pequeños poros situados en las hojas de la planta, llamados estomas. [mm, siendo 1 mm = 10 m ³ /ha]
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 INVIERTE).
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]

RIEGA

1. Introducción



2. Entender los recursos hídricos



3. Evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos



4. Calcular las necesidades de agua



5. Seleccionar el método de riego para el campo



6. Planificar las estructuras de entrada, conducción y distribución del agua



7. Consejos para un riego eficiente

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

El riego constituye un medio importante para mejorar la producción agrícola, pero en numerosos países en desarrollo aún no se ha explotado el potencial de la agricultura de regadío. Si bien el riego conlleva claros beneficios, causa un impacto importante en el medio ambiente (y, por extensión, en las sociedades y economías dependientes del mismo). Por consiguiente, se han desarrollado numerosas tecnologías y enfoques con vistas a minimizar los efectos negativos socioeconómicos y ambientales.

El módulo **RIEGA** expone de forma introductoria las complejidades en torno al riego. Forma parte de la Caja de herramientas de sistemas de riego solar (SPIS, por sus siglas en inglés) (GIZ y FAO, 2018), que comprende otros módulos y herramientas complementarias relevantes a la hora de tomar decisiones fundadas en materia de SPIS.

Además, este módulo se complementa con dos herramientas basadas en Excel:

- **RIEGA – Herramienta de suelos** para determinar un programa de riego apropiado para cultivos seleccionados y calcular las capacidades de almacenamiento de agua
- **RIEGA – Herramienta de evaluación del impacto** para examinar y sopesar los impactos socioeconómicos y ambientales de un proyecto de SPIS.

1. INTRODUCCIÓN

EL RIEGO ES ESENCIAL PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y EL DESARROLLO RURAL

A escala mundial, la agricultura de regadío copa aproximadamente el 70 % de las extracciones de agua, lo que la convierte en el mayor consumidor de agua. La agricultura de regadío proporciona aproximadamente el 40 % de los recursos alimentarios mundiales, incluida la mayoría de su producción hortícola, a partir de un 20 % estimado de las tierras agrícolas, o alrededor de 300 millones de ha en todo el mundo (FAO 2011). Mayormente, el futuro incremento de la producción de cultivos en los países en desarrollo probablemente será el resultado de la intensificación, en cuyo contexto el riego irá adoptando cada vez más un papel estratégico (AQUASTAT).

En muchos países del mundo, el riego ha generado beneficios directos en términos de productividad y seguridad alimentaria, produciendo comúnmente alimentos con mayores intensidades de cultivo y con rendimientos al menos dos veces superiores a los rendimientos de los cultivos de secano próximos (Faurès et al. 2007). El riego puede reducir la dependencia de las áreas propensas a la sequía respecto de la agricultura de secano y aumentar las intensidades de cultivo en zonas húmedas y tropicales “ampliando” la estación húmeda e introduciendo medios eficaces para el control del agua. Así pues, el riego suele considerarse el motor que impulsa el desarrollo rural, habida cuenta de que produce alimentos, brinda oportunidades de trabajo y genera ingresos.

Con todo, el riego también se ha asociado a impactos ambientales negativos, entre los que se incluyen la reducción del caudal de agua; cambios en el acceso al agua en las zonas situadas río abajo; el incremento de la salinidad del suelo; o la disminución de humedales, que desempeñan funciones

ecológicas importantes para la biodiversidad, la retención de nutrientes y el control de inundaciones. Los cambios consiguientes en el uso de la tierra y la gestión de recursos no sostenible pueden redundar en el deterioro de la calidad y el agotamiento de los recursos hídricos y de los ecosistemas asociados, de los cuales dependen los medios de vida.

Además, la calidad del agua utilizada para el riego influye en el rendimiento y la cantidad de los cultivos, así como en la permeabilidad y productividad del suelo, y en la salud del ecosistema en general. Pese a ello, la escasez de agua y los niveles de contaminación son tan significativos en numerosas partes del mundo que millones de agricultores y agricultoras se ven obligados a regar con agua de calidad marginal, como aguas residuales urbanas o aguas salinas de drenaje agrícola.

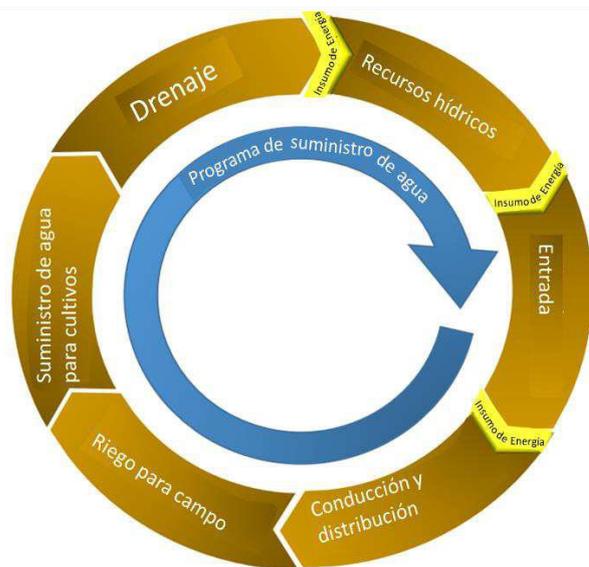
Los impactos del cambio climático ya están afectando a la agricultura de regadío, dado que la demanda de agua va en aumento, la productividad de los cultivos está disminuyendo, y la disponibilidad del agua resulta cada vez más limitada, precisamente en aquellos lugares del mundo en los que el riego es más necesario o presenta una clara ventaja comparativa.

¿QUÉ CARACTERIZA A UN BUEN SISTEMA DE RIEGO SOLAR?

El riego con energía solar normalmente se introduce como un sistema nuevo o viene a modernizar un sistema ya existente. En este último caso, la energía solar sustituye con sistemas fotovoltaicos (FV) a las formas convencionales de energía. Las bombas alimentadas con energía solar pueden utilizarse para la extracción de recursos hídricos superficiales o subterráneos.

Al diseñar un sistema de riego con energía solar (SPIS), es fundamental tener en cuenta el ciclo íntegro del sistema de

suministro de agua. Este incluye los recursos hídricos, la admisión, conducción y distribución del agua, los métodos de riego para el campo, el suministro de agua para cultivos, y el drenaje. La energía del sistema de suministro de agua proviene de las secciones de admisión, conducción y distribución mediante bombeo, elevación y transporte.



Análisis esquemático del sistema de suministro de agua para fines agrícolas, adaptado de "Irrigation Techniques for Small-scale Farmers"

(Fuente: Técnicas de riego para pequeños agricultores, FAO 2014)

RESULTADO / PRODUCTO

- Presentación general del rol del riego en la agricultura y de los potenciales impactos ambientales;
- sinopsis del sistema de suministro de agua para fines agrícolas e insumos de energía.

DATOS REQUERIDOS

- Datos del sitio, incluidas previsiones climáticas, ubicación de la explotación, topografía,

Mediante el examen de estos elementos, el presente módulo brinda orientación sobre algunos de los aspectos clave relacionados con la planificación y gestión de un sistema de riego con energía solar para la agricultura.

rotaciones de cultivos deseadas, área de tierra a regar, tipo de suelo;

- datos sobre el agua, incluida la calidad, cantidad, caudal, profundidad y variabilidad del agua;
- información sobre el diseño/el esquema del sistema de riego.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Diseñadores y diseñadoras, gestores y gestoras de sistemas de riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- gestores y gestoras de proyectos;
- responsables políticos.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Comprender el vínculo entre el agua y el ciclo de suministro de energía.
- Evaluar los riesgos climáticos y comprender las limitaciones que existen para el sistema de suministro de agua.

2. ENTENDER LOS RECURSOS HÍDRICOS

El tipo de fuente de agua, su elevación o profundidad, la cantidad de agua, la responsabilidad sobre los recursos, y la calidad del agua: todos estos aspectos determinan en gran medida los límites dentro de los cuales se pueden elegir cultivos y tomar decisiones sobre el método de riego. Conocer estos aspectos debería ser el primer paso de cualquier proyecto de planificación o implementación de SPIS.

Fuentes de agua pueden ser aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas no convencionales. Generalmente, el agua de riego se extrae de ríos, lagos y acuíferos. A escala mundial, en las áreas de riego, en aproximadamente el 61 % de los casos se utilizan aguas superficiales, y en el 38 % aguas subterráneas. En Asia, el norte de África y Oriente Medio, el uso de aguas subterráneas ha aumentado rápidamente en los últimos años a consecuencia de la introducción de la tecnología de pozos entubados, a lo que se suma el acceso mejorado a energía y los bajos precios energéticos (datos de 2013, AQUASTAT 2016). Las fuentes no convencionales, como las aguas residuales tratadas y el agua desalada, suponen una fuente de riego de escasa importancia a escala mundial (sobre un 1 %). El uso de esta agua para riego se concentra en el Mediterráneo, Oriente Medio y las regiones andinas.

La **elevación** de la fuente de agua respecto del campo determina si es posible suministrar el agua a presión. Esto reviste una particular relevancia para las aguas superficiales, en cuyo caso es importante discernir si la gravedad por sí sola puede permitir el funcionamiento de sistemas de riego presurizados o si se requiere el uso de bombas. En el caso de aguas subterráneas, la profundidad del nivel freático determina el tamaño de la bomba y los costos asociados. Actualmente, las bombas alimentadas con energía solar pueden elevar agua hasta 200 m (y esta cifra va en aumento). Sin embargo, estas

bombas son más caras y, por lo general, están menos disponibles.

Asimismo, también es importante la descarga disponible desde la fuente (la **cantidad de agua**) y la variabilidad. Entender qué recursos hídricos están disponibles, y en qué condiciones, ayuda a decidir cuál es el método de riego más adecuado para el contexto ambiental (clima, suelos y paisaje) y agrícola concreto. ¿Cuándo y cuánto llueve a lo largo del año? ¿Cuáles son los recursos hídricos superficiales y subterráneos disponibles? ¿Cuál es la variabilidad de esos recursos hídricos a lo largo del año en términos de caudal, cantidad y calidad? ¿Cuán variable es la disponibilidad de agua en el contexto del cambio climático? ¿Cuáles son los requisitos de otros usuarios y usuarias? ¿Cuáles son los requisitos de caudales ambientales?

La herramienta **SALVAGUARDA EL AGUA – Lista de verificación de gestión de los recursos hídricos** ayuda a hacerse una idea general de la disponibilidad de recursos hídricos. En las regiones en las que ya existe escasez de agua y las regiones que previsiblemente experimentarán escasez de agua en los próximos 20 años (véanse las [predicciones del IRM](#)), se recomienda realizar un análisis más profundo del balance hídrico y un estudio de viabilidad con datos concretos antes de instalar un SPIS.

Debería realizarse un estudio del acuífero para determinar las tasas de extracción sostenible. La **responsabilidad** de llevar a cabo este análisis depende de la atribución de la propiedad de los recursos dentro de la cuenca hidrográfica. En la mayoría de los casos resulta prudente establecer un comité de cuenca que involucre a las partes interesadas relevantes y se responsabilice del análisis del acuífero, así como de permitir y hacer el seguimiento de la extracción, además de velar por el cumplimiento de las tasas acordadas. Si

los recursos se gestionan de forma más fragmentada, entonces las autoridades que conceden los permisos deberían considerar los impactos de sus acciones sobre toda la cuenca, otras partes interesadas y el ecosistema. En cualquier caso, la resiliencia con respecto a futuros escenarios climáticos es clave para la longevidad de la producción agrícola.

Asimismo, es preciso tener en cuenta la **calidad del agua**, ya que afecta a la elección del método de riego y los tipos de cultivos que se pueden cultivar. Tanto la composición química del agua como la carga de sedimentos pueden influir en esta decisión. La presencia de determinados elementos, como sodio (Na), cloro (Cl) y boro (B), por encima de un determinado umbral puede provocar quemaduras en las hojas y defoliación si se utiliza el riego por aspersión. De igual modo, la concentración total de sales en el agua afecta a los requisitos de lixiviación, lo que redundaría en que el agua salina no resulte muy adecuada para el riego por surcos. La carga de sedimentos del agua condiciona las necesidades de filtración en el riego por goteo, así como el programa de selección y mantenimiento de los goteros, y, por ende, la aplicabilidad de este tipo de riego en determinadas condiciones. Asimismo, los sedimentos aumentan el desgaste de las bombas y otros componentes del riego por aspersión.

RESULTADO / PRODUCTO

- Identificación de los factores clave que determinan el método de riego;
- sinopsis general de la cantidad, calidad y variabilidad del agua;
- sensibilización acerca de los riesgos para el medioambiente que requieren una atención específica;
- establecimiento de un comité de cuenca o medios estructurados para evaluar la extracción sostenible;

- comprender la necesidad de gobernanza de los recursos hídricos;
- sensibilización acerca de los riesgos que implica el cambio climático y la necesidad de ser resiliente.

DATOS REQUERIDOS

- Información sobre la fuente de agua (aguas superficiales, subterráneas, no convencionales) y su comportamiento (velocidades de recarga, velocidades de descenso, etc.);
- información sobre la elevación de la fuente de agua respecto del campo;
- información sobre disponibilidad, calidad y caudal de agua;
- información sobre futuros escenarios de disponibilidad de agua;
- información sobre otros requisitos de uso río arriba y río abajo.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Autoridad responsable de la gestión de los recursos hídricos y la concesión de licencias de agua;
- servicios hidrológicos;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- agricultores y agricultoras;
- usuarios y usuarias del agua río abajo;
- agencias de protección ambiental o similares, ONG ambientales.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Ningún proyecto de riego puede desarrollarse sin la obtención previa de un permiso de extracción de agua o similar.

- Las cuotas de extracción de agua son vinculantes y establecen la disponibilidad máxima de agua para la demanda pico.
- Es imprescindible evaluar los riesgos climáticos y comprender las limitaciones que existen para el sistema de suministro de agua.
- Es necesario revisar regularmente los permisos para garantizar la resiliencia y la asignación justa de los recursos hídricos, habida cuenta del cambio climático y la variación de la disponibilidad del agua.
- Es necesario realizar análisis del acuífero y de la cuenca hidrográfica, a fin de comprender el sistema hidrológico, prever los impactos del SPIS, y mitigar los resultados negativos.

3. EVALUAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS

Los proyectos de riego y drenaje derivan invariablemente en numerosos cambios ambientales y socioeconómicos de gran alcance. Algunos benefician a la población, mientras que otros amenazan la productividad a largo plazo de los proyectos de riego y drenaje en sí, y ponen en riesgo los recursos naturales. Los cambios negativos no se limitan al aumento de la contaminación o la pérdida del hábitat para la flora y la fauna nativas, sino que se extienden a toda la gama de componentes ambientales, tales como suelo, agua, aire y energía, y al sistema socioeconómico.

RIEGO Y MEDIO AMBIENTE

El riego permite expandir e intensificar la agricultura. No obstante, sin una gestión adecuada el desarrollo del riego puede conllevar importantes impactos ambientales negativos.

A nivel de cuencas, los sistemas de riego pueden afectar negativamente a la hidrología. Los grandes proyectos de riego que embalsan o desvían aguas de los ríos tienen el potencial de causar perturbaciones importantes para el medio ambiente como resultado de los cambios en la hidrología y la limnología de las cuencas fluviales. La reducción del caudal fluvial modifica el uso y la ecología de la tierra de las llanuras aluviales y puede originar la intrusión de agua salada en el río y en las aguas subterráneas de las tierras adyacentes. La derivación del agua con fines de riego reduce, asimismo, el suministro de agua para los usuarios y usuarias que viven río abajo, incluidos municipios, industrias y sector agrícola. Asimismo, al reducir el flujo de base de los ríos también disminuye la dilución de los residuos municipales e industriales vertidos río abajo, lo que implica peligro de contaminación y un riesgo para la salud.

El riego con aguas subterráneas puede aumentar el riesgo de extracción excesiva,

que provoca agotamiento de las aguas subterráneas, hundimiento de tierras, descenso de la calidad del agua, e intrusión de agua salada en zonas costeras.

Además, es importante comprender de qué modo la calidad del agua se ve afectada por el desarrollo del riego. En la calidad del agua que entra en el área de riego influye el uso de la tierra río arriba, en particular en relación con el contenido de sedimentos (por ejemplo, procedentes de la erosión provocada por la agricultura) y la composición química (por ejemplo, procedentes de los contaminantes agrícolas e industriales). El uso del agua fluvial con una gran carga de sedimentos puede derivar en la obstrucción de los canales. Los flujos de retorno contaminados que contienen concentraciones perjudiciales de sales, residuos orgánicos, residuos agroquímicos u otras sustancias provocan la degradación de los ecosistemas río abajo. El aumento del nivel de nutrientes en el agua de riego y de drenaje puede originar floraciones de algas, la proliferación de malezas acuáticas, y la eutrofización en los canales de riego y los cursos de agua río abajo.

A nivel de los campos de cultivo, existe un gran riesgo de encharcamiento y salinización. La salinidad inducida por el riego puede ser el resultado del uso de agua salina, el riego de suelos salinos, y niveles crecientes de aguas subterráneas salinas en combinación con una lixiviación inadecuada. La salinidad reduce el crecimiento de las plantas y la productividad del suelo. Los suelos afectados por la sal son más frágiles y propensos a la erosión. En el caso de los suelos sódicos, la pérdida de materia orgánica debilita las estructuras del suelo, incrementa las emisiones de dióxido de carbono y disminuye la infiltración de agua a consecuencia del sellado superficial. Esto afecta inevitablemente a la

productividad agrícola, los rendimientos de los cultivos y los ingresos de los agricultores y agricultoras.

Impactos negativos potenciales de los sistemas de riego

Aumento de la evaporación en el sistema
Degradación de la tierra de regadío
<ul style="list-style-type: none"> • Salinización • Alcalinización • Aumento de la recarga de aguas subterráneas, encharcamiento y problemas de drenaje • Acidificación del suelo • Compactación del suelo • Erosión del suelo
Baja calidad del agua
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la calidad del agua de riego; lixiviación • Problemas con la calidad del agua para los usuarios y usuarias río abajo debido a la calidad del flujo de retorno de riego
Agotamiento de las aguas subterráneas
<ul style="list-style-type: none"> • Desecamiento de pozos de agua potable y de riego • Intrusión de agua salada a lo largo de las zonas costeras • Reducción del flujo de base
Reducción de la descarga fluvial río abajo
Degradación ecológica
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la biodiversidad en el área de regadío y alrededores • Daño a los ecosistemas río abajo debido a la reducción de la calidad y cantidad de agua
Impactos negativos en la salud humana
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la incidencia de enfermedades relacionadas con el agua

En las tierras de regadío, especialmente en las zonas con capas freáticas altas, por lo general se requiere drenaje para evitar que se produzcan encharcamientos. Dado que el drenaje de aguas subterráneas es una operación compleja y costosa (a menudo más costosa que el proyecto de riego inicial en sí), existe la tentación de iniciar nuevos proyectos de riego ignorando la necesidad

de drenaje o retrasando su instalación hasta que se convierte en una necesidad urgente. Sin embargo, cuando la necesidad de drenaje se vuelve inevitable, los costos de implementación pueden ser prohibitivos.

Así pues, es crucial hacer un seguimiento de las capas freáticas mediante pozos de observación (piezómetros), así como de la calidad de las aguas subterráneas. De este modo, se puede detectar precozmente el peligro de salinización y el agotamiento de las aguas subterráneas.

¿PUEDE EL RIEGO CON ENERGÍA SOLAR MEJORAR LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA?

La introducción de la tecnología solar puede ir pareja con métodos de riego más eficientes en cuanto al uso del agua que pueden ayudar a mejorar la eficiencia de la aplicación de agua en el campo. No obstante, existe el riesgo de que, en lugar de ahorrar agua, en realidad se genere un aumento del consumo de agua cuando no haya límites que alienten o incentiven el uso eficiente de agua. Los agricultores y agricultoras podrían (i) aplicar más agua en el campo en general (por ejemplo, pasando de un riego deficitario a un riego óptimo), (ii) ampliar el área de tierra de regadío, (iii) cambiar a cultivos de mayor valor, pero que con frecuencia requieren más agua, (iv) vender agua a comunidades o a agricultores o agricultoras vecinos. Esto resulta particularmente problemático en áreas en las que los recursos de aguas subterráneas ya están sobreexplotados y las velocidades de recarga son lentas.

Cabe distinguir entre los siguientes conceptos:

La **eficiencia en el uso del agua** representa la relación entre el uso efectivo del agua y la extracción real de agua. Permite determinar, en un proceso específico, cómo de eficaz es el uso del

agua. La eficiencia depende de la escala y el proceso.

Eficiencia de riego: La relación o porcentaje de las necesidades de agua de riego de los cultivos en una explotación, campo o proyecto de regadío, con respecto al agua derivada de la fuente de suministro.

Eficiencia de riego del sistema: La eficiencia de riego del sistema (en %) hace referencia al agua bombeada o desviada a través de la toma de admisión del sistema que efectivamente es consumida por las plantas.

La eficiencia de riego del sistema puede subdividirse en:

- La **eficiencia de conducción**, que representa la eficiencia del transporte de agua en canales. Depende principalmente de la longitud de los canales, el tipo de suelo o la permeabilidad de las orillas de los canales, y la condición de los canales.
- La **eficiencia de aplicación en el campo**, que representa la eficiencia de la aplicación de agua en el campo.

CONSECUENCIAS IMPREVISTAS DE LA EFICIENCIA

A menudo se alega que el SPIS, en combinación con el riego por goteo, va a garantizar que el agua se use de forma eficiente a nivel de campo. Los sistemas de goteo y aspersión permiten a los agricultores y agricultoras mejorar los horarios y la uniformidad de distribución del riego, lo que puede mejorar los rendimientos de los cultivos, de modo que aumenta la transpiración por hectárea. La perspectiva de mayores retornos por hectárea, no obstante, alentará a algunos agricultores y agricultoras a expandir el área cultivada o a pasar a cultivos de mayor valor que requieren mayor consumo de agua (Berbel y Mateos, 2014). Partir del supuesto de que el riego por goteo va a conllevar automáticamente ahorros de agua a nivel de explotación es una falacia.

La eficiencia hídrica a nivel de campo o explotación también puede tener implicaciones a nivel de cuenca. Los sistemas de recursos hídricos son sistemas altamente integrados, y las ganancias aparentes (en términos de eficiencia en el uso del agua) en una parte del sistema pueden quedar contrarrestadas por pérdidas reales en otras partes de este. Precipitaciones, aguas superficiales, aguas subterráneas, índice de humedad del suelo, y procesos de evaporación a partir de diferentes usos de la tierra: todo ello forma parte del mismo ciclo hidrológico y no se puede contemplar como elementos independientes. Los cambios en el uso del agua en un ámbito pueden provocar consecuencias imprevistas o indeseadas, ya sea localmente o bien río abajo.

IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS

El principal objetivo de la agricultura de regadío es aumentar la producción agrícola y, en consecuencia, mejorar el bienestar económico y social de las personas que recurren a ella. Sin embargo, el cambio de los patrones de uso de la tierra como consecuencia del riego puede originar también otros impactos socioeconómicos, por ejemplo, en los ámbitos de tenencia de la tierra, tenencia del agua, y mano de obra para la construcción, la operación y el mantenimiento.

Parcelas pequeñas, derechos comunales de uso de las tierras, y derechos sobre las tierras tradicionales y legales que entran en conflicto: todo ello genera dificultades cuando la tierra pasa a explotarse como agricultura de regadío. Es probable que los acuerdos tradicionales sobre la tenencia de la tierra queden en suspenso por trabajos de desarrollo y rehabilitación importantes (p. ej. construcción de presas, reservorios y canales). El impacto más significativo podría ser el reasentamiento de personas. Esto puede resultar particularmente perjudicial para las comunidades y requiere sensibilidad a la hora de desarrollar los proyectos y una compensación adecuada. El cambio de uso de la tierra, como es el

desarrollo de un nuevo sistema de riego, también puede afectar negativamente a quienes estén usando la tierra para otros fines, además de a la biodiversidad local. Si se utiliza para monocultivos de regadío la tierra a la que se venían dando otros usos como son la caza, el pastoreo, la recolección de leña, la producción de carbón vegetal o el cultivo de hortalizas, dichos usos se verán afectados negativamente. Las mujeres, los grupos de migrantes y las clases sociales más pobres a menudo pierden el acceso a los recursos y ven incrementada su carga de trabajo. En contrapartida, el aumento de los ingresos y las mejoras nutricionales obtenidos gracias a la agricultura de regadío pueden beneficiar particularmente a las mujeres y los niños y niñas.

Como resultado de cambios en las infraestructuras y el acceso al agua pueden surgir problemas similares. Estas circunstancias con frecuencia aumentan la desigualdad de oportunidades. Por ejemplo, los propietarios y propietarias de tierras se benefician en mayor grado que los arrendatarios y arrendatarias o aquellas personas con derechos comunales sobre la tierra.

Estos impactos socioeconómicos deben ser evaluados y tenidos en cuenta en los procesos de planificación o modernización de sistemas de riego. Este aspecto podría ser menos relevante para las unidades de bombeo individuales o los proyectos basados en un diseño, planificación y gestión dirigidos por la comunidad. Debería garantizarse que se satisfagan las necesidades de las comunidades y usuarios y usuarias locales y que se prevean los retos potenciales y se preparen medidas de mitigación para el caso de que estos se materialicen.

IMPACTOS POTENCIALES DEL RIEGO SOBRE LA SALUD

Los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua o relacionadas con el agua aumentan en zonas que carecen del drenaje adecuado de canales y suelo, cuentan con canales no revestidos y en las

que no se controla el crecimiento de la vegetación, o que se dejan con agua estancada (p. ej. en zanjas, pero también en campos de arroz o caña de azúcar). Los vectores de enfermedades como la malaria, la bilharziasis (esquistosomiasis) y la oncocercosis proliferan en las aguas de riego.

Entre otros riesgos para la salud relacionados con el riego se incluyen aquellos asociados con el incremento del uso de agroquímicos, el deterioro de la calidad del agua y el aumento de la presión demográfica en la zona. La reutilización de aguas residuales para el riego, dependiendo de la extensión del tratamiento, tiene el potencial de transmitir enfermedades contagiosas. Entre los grupos de población en riesgo se cuentan los trabajadores y trabajadoras agrícolas, los consumidores y consumidoras de cultivos regados con aguas residuales y de carne procedente de animales alimentados con esos cultivos, y las personas que viven en sus proximidades.

HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

La gestión inteligente del medio ambiente requiere la habilidad de prever, monitorizar, medir y analizar las tendencias ambientales y evaluar las capacidades de la tierra y el agua a diferentes niveles, desde una pequeña parcela de regadío hasta una cuenca de captación. La adopción de evaluaciones del impacto ambiental (EIA) permitirá a los países planear el uso del agua y de la tierra de forma integrada, evitando daños ambientales irreversibles.

La herramienta **PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto**, basada en “The ICID Environmental Check-List. To Identify Environmental Effects of Irrigation, Drainage and Flood Control Projects” (Mock y Bolton, 1993) puede servir como punto de partida.

CONTABILIDAD DEL AGUA

Es importante estudiar sistemáticamente la situación actual y las tendencias de la oferta, la demanda, la accesibilidad y el uso del agua (FAO 2012). Esto es lo que se conoce como contabilidad del agua. Habida cuenta de que evalúa los flujos de retorno, mide tanto la eficiencia de la cuenca como del campo y diferencia entre ahorros consuntivos y no consuntivos, la contabilidad del agua ayuda a abordar cuestiones como: ¿cuáles son las causas subyacentes de los desequilibrios entre la oferta de agua (cantidad y calidad) y la demanda en cuanto a diferentes usos y usuarios o usuarias del agua? ¿Es sostenible el nivel actual de uso consuntivo de agua? ¿Qué oportunidades existen para hacer el uso del agua más equitativo o sostenible (FAO 2016)? Esta evaluación debería realizarse antes de instalar el SPIS, con el fin de establecer una referencia, así como, tras la implementación, para medir periódicamente los cambios provocados por el riego.

Al evaluar los impactos del riego con energía solar sobre la eficiencia en el uso del agua, es importante distinguir entre estos diferentes niveles de análisis (campo/explotación/sistema/cuenca) y llevar a cabo una contabilidad sistemática del agua para comprender qué opciones existen para optimizar el uso del agua en general.

Estos esfuerzos deben ir acompañados de políticas y mecanismos de regulación adecuados. A la hora de conceder subsidios, se pueden seguir criterios específicos (p. ej. solo en zonas donde no se produzca sobreexplotación de las aguas subterráneas) o proporcionar incentivos para el uso del agua; los procesos de licitación pueden establecer estándares (p. ej., se integrará un sistema de medición de aguas subterráneas en la bomba solar); y las normativas pueden restringir el uso del SPIS a determinadas horas o lugares. Si se tiene en cuenta todo lo anterior, el SPIS tiene el potencial de mejorar de forma

sustancial las vidas de muchas personas. Para más información al respecto, consulte el informe de 2017 de la FAO “*The Benefits and Risks of Solar Powered Irrigation – A Global Overview*” (*Panorama global de los beneficios y riesgos del riego con energía solar*).

HERRAMIENTAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Muchos de estos impactos ambientales negativos pueden abordarse mediante la planificación e implementación eficaces de medidas de protección y conservación ambiental.

No solamente se pueden revertir los impactos negativos, sino que, con un enfoque de gestión integrada, se pueden obtener otros beneficios. El riego, por ejemplo, puede desempeñar un papel positivo en la gestión del uso de la tierra. Intensificando la producción de alimentos y forraje en las tierras más favorables, por ejemplo, puede reducirse la presión en las tierras marginales, las cuales se pueden usar para la producción agrícola de secano o para pastoreo. Las presas y reservorios ofrecen vías para mitigar los potenciales impactos negativos que suponen los cambios en los caudales de las crecidas, pero requieren una planificación esmerada para no interrumpir el flujo ni perjudicar a los usuarios y usuarias río abajo o al medio ambiente. La planificación de sistemas de riego que incluya llanuras aluviales designadas e infraestructuras naturales, como por ejemplo humedales, puede mejorar la recarga de aguas subterráneas y atenuar los caudales pico de descarga.

Para más información sobre prácticas de gestión sostenibles de la tierra, el suelo y el agua consúltense los siguientes enlaces:

<http://www.fao.org/land-water/land/sustainable-land-management/slm-practices/en/>

EVALUACIÓN DE LA SALINIDAD DEL SUELO

Soil Salinity Assessment. FAO Irrigation and Drainage Paper 57.

www.fao.org/docrep/019/x2002e/x2002e.pdf

Visual Soil Assessment Field Guides, documento de la FAO

<http://www.fao.org/3/a-i0007e.pdf>

EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA

Land Degradation Assessment in Dry Lands, documento de la FAO

www.fao.org/fileadmin/templates/nr/kagera/Documents/LADA_manuals/MANUAL2_final_draft.pdf

CALIDAD DEL AGUA

USGS *Water Quality Assessment – Field Methods and Techniques*:

<https://water.usgs.gov/owq/methods.html>

LISTA DE VERIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA

PROMUEVE – HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión de las vinculaciones entre riego, medio ambiente y sociedad;
- comprensión de los riesgos que el SPIS supone para el caudal ecológico y las opciones para mitigar el riesgo;
- sensibilización sobre las eficiencias en los sistemas de riego con energía solar;
- sensibilización sobre los impactos en y los roles de los derechos sobre el agua, derechos sobre la tierra y la igualdad de género en el ecosistema socioeconómico;
- sensibilización sobre los impactos sobre la salud y los costos que se aplazan cuando no se han planificado suficientemente los

sistemas de riego y se prescinde del drenaje adecuado;

- comprender la contabilidad del agua y las políticas, subsidios y sistemas de gobernanza potenciales que pueden derivar en sistemas de riego responsables;
- sensibilización sobre las herramientas disponibles para la gestión ambiental.

DATOS REQUERIDOS

- Datos necesarios para herramientas de gestión ambiental;
- datos de referencia para hacer un seguimiento de los impactos socioeconómicos y ambientales del riego (datos sobre cuestiones de género, datos sobre ingresos, biodiversidad, empleo, uso del agua, calidad del agua, salud, datos conductuales de intervenciones gubernamentales, cambios en el uso de la tierra, datos sobre el suelo, etc.).

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Planificadores y planificadoras de riego/gestores y gestoras de sistemas;
- responsables políticos;
- autoridad responsable de la gestión de los recursos hídricos y la concesión de licencias de agua;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- agencias de protección ambiental o similares, ONG ambientales.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Impactos de gran alcance, tanto positivos como negativos, de los sistemas de riego con energía solar.
- Importancia de planificar de forma anticipatoria el drenaje, la salud

pública, y el desarrollo inclusivo en toda la cuenca.

- Necesidad de implicarse en la recopilación de datos de referencia.
- Comprender las diferentes eficiencias en SPIS e identificar las potenciales consecuencias negativas.
- Utilizar soluciones basadas en la naturaleza como medida para comprender el impacto del riego en el uso de la tierra, en la biodiversidad, y en la mitigación, adaptación y resiliencia potenciales con respecto al cambio climático.
- Comprender que los derechos sobre la tierra, los derechos sobre el agua y las cuestiones de género interactúan con el uso de la tierra y la productividad agrícola.

4. CALCULAR LAS NECESIDADES DE AGUA

Comprender cuándo, dónde y en qué cantidad se necesita agua para la producción agrícola y otros usos resulta crucial con vistas a una gestión eficiente del agua.

NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Las necesidades de agua de los cultivos se definen como la cantidad total de agua requerida para satisfacer la pérdida de agua producida por evapotranspiración. En otras palabras, es la cantidad de agua que requieren los distintos cultivos para crecer de manera óptima.

Las necesidades de agua de los cultivos se aplican siempre al crecimiento del cultivo en condiciones óptimas, es decir, un cultivo uniforme, con un crecimiento activo, que proyecte sombra en toda la superficie, sin enfermedades y con un suelo en condiciones favorables (incluidas fertilidad y agua). Cuando el entorno cumple las condiciones indicadas, el cultivo alcanza todo su potencial de producción.

Las necesidades de agua de los cultivos dependen principalmente de:

- *El clima:* en un clima de sol y calor los cultivos necesitan más agua diariamente que en un clima nublado y frío
- *El tipo de cultivo:* los cultivos como el maíz o la caña de azúcar necesitan más agua que los cultivos como el mijo y el sorgo
- *La fase de crecimiento del cultivo:* los cultivos completamente desarrollados necesitan más agua que los cultivos que acaban de plantarse.

Impacto de las condiciones climáticas sobre las necesidades de agua de los cultivos (fuente: FAO 1989)

Factor climático	Nec. agua cultivo	
	Alta	Baja
Temperatura	calor	frío
Humedad	baja (seco)	alta (húmedo)
Vel. viento	ventoso	poco viento
Luz solar	soleado (sin nubes)	nublado (sin sol)

No obstante, en la vida real rara vez se dan las condiciones óptimas y existen otros muchos factores que también influyen en las tasas de evapotranspiración. Factores tales como salinidad del suelo, baja fertilidad de la tierra, uso limitado de fertilizantes y productos químicos, falta de control de plagas y enfermedades, gestión deficiente del suelo y disponibilidad limitada de agua en la zona radicular pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración.

Otros factores que afectan a la evapotranspiración son la cubierta del suelo y la densidad de plantas. Por lo demás, las prácticas de cultivo y el tipo de sistema de riego pueden alterar el microclima, influir en las características del cultivo y afectar a la humedad del suelo y la superficie de las plantas.

NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO

Por necesidades de agua de riego se entiende el agua que debe suministrar el sistema de riego para garantizar que el cultivo reciba la cantidad íntegra de agua que necesita. Si el riego constituye la única fuente de suministro de agua para la planta, las necesidades de riego siempre van a ser mayores que las necesidades de agua del cultivo, para cubrir las deficiencias en el sistema de riego. Si el cultivo recibe parte de su agua de otras fuentes (lluvia, agua almacenada en el suelo, filtraciones

subterráneas, etc.), entonces las necesidades de riego pueden ser considerablemente más bajas que las necesidades de agua del cultivo.

En climas húmedos, las precipitaciones y la humedad del suelo pueden ser suficientes para asegurar un crecimiento satisfactorio en el contexto de la agricultura de secano. Sin embargo, en climas áridos o durante estaciones secas prolongadas es necesario el riego para compensar el déficit producido por la evapotranspiración (transpiración del cultivo y evaporación del suelo), debido a precipitaciones insuficientes o erráticas.

A fin de comprender qué cantidad de agua de riego se requiere, es necesario realizar un análisis del balance hídrico. Este tipo de análisis engloba tres niveles.

El primer nivel corresponde al balance de la demanda agrícola y otras demandas dentro de una cuenca hidrográfica. Esto ayuda a determinar el rendimiento seguro del agua procedente de varias fuentes y, en consecuencia, qué volumen de riego es posible dentro de márgenes sostenibles (véase el módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**).

Otra perspectiva del balance hídrico es la relativa al nivel de explotación (o área de influencia). Con frecuencia, los campos no se riegan individualmente, sino que comparten el agua proporcionada a través de un canal o pozo. También suelen compartir canales de drenaje. El balance hídrico en la explotación tiene en cuenta el acceso al agua, los usos prioritarios, y los horarios y duración del riego. Todo ello constituye la base de la eficiencia en el diseño del sistema y la prestación de servicios.

La tercera perspectiva contempla las necesidades de aguas de los cultivos en un campo. Regar un cultivo en el momento adecuado y con la cantidad apropiada requiere experiencia y depende del clima, las precipitaciones, el suelo y la fase del

cultivo, así como del sistema de riego para el campo y de la tecnología de riego utilizados.

Existen programas de riego computarizado especiales, como por ejemplo el programa CROPWAT de la FAO, que pueden usarse para aconsejar a los agricultores y agricultoras sobre programas de riego y suministro de agua para las condiciones climáticas, cultivo, suelo y método de riego correspondientes.

PROGRAMA DE RIEGO

Una vez que se ha calculado el agua para los cultivos y las necesidades de riego, el siguiente paso consiste en preparar programas de riego para el campo. A la hora de preparar un programa de riego, hay que tener en cuenta tres parámetros:

- Las necesidades diarias de agua de los cultivos;
- el suelo, en particular la humedad total disponible o su capacidad de retención de agua;
- la profundidad efectiva de la zona radicular.

La reacción de la planta al riego se ve influenciada por las condiciones físicas, la fertilidad y el estatus biológico del suelo. Condición del suelo, textura, estructura, profundidad, materia orgánica, densidad aparente, salinidad, sodicidad, acidez, drenaje, topografía, fertilidad y características químicas: todo ello afecta a la medida en que el sistema de raíces de una planta penetra en el suelo y usa la humedad y los nutrientes presentes en el mismo. Muchos de estos factores influyen en el movimiento del agua en el suelo, la capacidad de retención de agua del suelo y la capacidad de las plantas para usar el agua. El sistema de riego utilizado debería poder funcionar o bien en todas estas condiciones o bien en la mayoría de ellas.

En el campo, el valor real puede variar entre un lugar y otro, una temporada y otra e incluso durante una misma temporada. Durante la temporada varía en función del tipo de explotación y equipo de labranza,

número de operaciones de labranza, gestión de residuos, tipo de cultivo y calidad del agua.

Asimismo, los suelos que deben regarse deben contar con un drenaje superficial y subterráneo adecuados, especialmente en el caso de riego de superficie. El drenaje interno dentro de la zona radicular del cultivo puede o bien ser natural o bien ser el producto de un sistema de drenaje subterráneo instalado.

¿QUÉ CULTIVOS SON LOS MÁS INDICADOS PARA EL RIEGO SOLAR?

No hay ningún cultivo que resulte especialmente indicado (o no indicado) para el riego con energía solar, siempre que el método de riego pueda satisfacer las necesidades de agua de los cultivos y sea compatible con las prácticas agrícolas, el clima, los recursos hídricos y otros aspectos agronómicos.

El patrón de cultivo debería ser de tal modo que el cultivo seleccionado pueda crecer satisfactoriamente en las condiciones climáticas y de suelo prevalentes, y el sistema de riego debería ser compatible con los cultivos y las prácticas agrícolas. Además, debería prestarse especial atención a la selección y el calendario de cultivos. Los cultivos deberían poder comercializarse a precios asequibles.

SELECCIÓN DE CULTIVOS ADECUADOS PARA EL RIEGO

Entre los aspectos agronómicos a considerar se incluyen los siguientes:

- Calendario de los actuales cultivos habituales en la zona durante las estaciones húmedas y secas, indicación de peligros de temporada (sequía, inundaciones, plagas y enfermedades);
- nuevos cultivos con buen potencial de ser introducidos en condiciones de riego;

- cultivos para autosuficiencia y seguridad alimentaria (a nivel de hogares/nacional);
- cultivos destinados al mercado;
- experiencia, motivación y prioridades de los agricultores y agricultoras con respecto a la selección de los cultivos.

Es preferible el uso de cultivos o variedades con mayor resiliencia frente a las sequías. Así se puede también ayudar a los agricultores y agricultoras a adaptarse a los cambios en las temperaturas y patrones de lluvias. Una mayor diversificación agrícola, incluida una mayor integración de árboles, cultivos, peces y ganado, puede reducir el riesgo y aumentar la resiliencia de los sistemas agrarios.

Algunos cultivos son sensibles a la forma en que se les aplica el agua. Los sistemas mediante los que se humecta todo el cultivo, como el riego por aspersión, pueden tener consecuencias no deseadas, como quemaduras en las hojas, manchas y deformaciones en la fruta, podredumbre cuello, etc. Estas consideraciones pueden influir en la elección del método de riego (Savva y Frenken 2004).

Como norma general, la mayoría de los cultivos hortícolas (y otros en línea) tiene una profundidad radicular efectiva baja, por lo que se desarrolla mejor con niveles bajos de agotamiento de la humedad. Por lo tanto, estos cultivos resultan indicados para el riego localizado por goteo, utilizado frecuentemente en sistemas de riego solar.

Es importante señalar que el fitomejoramiento y la biotecnología pueden ayudar mediante el aumento de las partes cosechables de la biomasa, la reducción de las pérdidas de biomasa gracias a una mayor resistencia a las plagas y enfermedades, la disminución de la evaporación del suelo gracias a un crecimiento vigoroso precoz para cubrir rápidamente el suelo, y una menor susceptibilidad frente a la sequía (FAO 2012).

A la hora de seleccionar cultivos adecuados, los agricultores y agricultoras

deben asegurarse de que tienen acceso a los insumos agrícolas, como son semillas de calidad, fertilizantes, pesticidas y herramientas, así como a créditos para poder adquirir los insumos necesarios.

PRÁCTICAS E INSUMOS AGRÍCOLAS ADECUADOS

- Prácticas agrícolas actuales de cultivos habituales en términos de insumos, mano de obra y herramientas;
- prácticas agrícolas nuevas o mejoradas que deben introducirse para garantizar niveles de producción óptimos en los cultivos de regadío;
- evaluación de los insumos necesarios requeridos para la producción óptima en términos de calidad de las semillas, fertilizantes orgánicos e inorgánicos, herramientas, disponibilidad de los insumos y acceso a crédito.

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión acerca de qué afecta a las necesidades de agua de los cultivos;
- diferenciación entre necesidades de agua de los cultivos y necesidades de agua de riego;
- incorporación de las diferentes perspectivas de necesidades de agua en el programa de riego;
- incorporación de los parámetros necesarios en el programa de riego y el diseño del drenaje.

DATOS REQUERIDOS

- Rotaciones de cultivos planeadas;
- plan de plantación y cosecha;
- necesidades de consumo de otros usuarios y usuarias del agua en la cuenca;

- escenarios regionales de clima futuro.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Asesores y asesoras de SPIS;
- agricultores y agricultoras;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Las necesidades de agua de los cultivos y las necesidades de agua de riego deben ser capaces de responder a escenarios de clima futuros.
- Los sistemas de riego exigen planificación a múltiples escalas, desde la cuenca, hasta el cultivo individual, pasando por la explotación.
- La salud del suelo y el tipo de suelo son clave para calcular las necesidades de agua.
- Las restricciones en la disponibilidad estacional del agua deberían influir en la elección del cultivo, alcanzando un equilibrio entre las necesidades de agua del cultivo, las necesidades de otros usuarios y usuarias y la disponibilidad del agua.
- El drenaje del suelo debería ser un tema prioritario a considerar.
- En la elección de los cultivos también se debería tener en cuenta la disponibilidad de otros insumos, tales como mano de obra, fertilizantes, herramientas, herbicidas, etc.

5. SELECCIONAR EL MÉTODO DE RIEGO PARA EL CAMPO

La mayor parte del área total regada cuenta con el equipamiento necesario para un riego completamente controlado. Los métodos de riego controlado se diferencian en la forma en que se distribuye el agua (AQUASTAT).

Una vez que se conocen las necesidades de agua, los recursos hídricos y los impactos de la implementación de un SPIS, se pueden seleccionar los métodos de riego adecuados.

¿QUÉ MÉTODOS DE RIEGO EXISTEN?

El **riego de superficie** utiliza la gravedad para desplazar el agua por la tierra. Esta categoría puede subdividirse en canales pequeños (surcos), franjas de tierra (crestas) y riego por compartimientos (incluido el riego por sumersión del arroz).

El uso del riego de superficie está muy extendido y, por lo tanto, se trata de un sistema bien conocido que puede ponerse en práctica sin aplicaciones de alta tecnología. En general, para este método de riego se requiere más mano de obra que para otros. En el diseño de un sistema de riego de superficie deben tenerse en cuenta el tipo de suelo (textura y velocidad de infiltración), la pendiente y el nivelado del campo, así como el tamaño y el recorrido del chorro. En general, es más difícil obtener una alta uniformidad en la distribución del agua en campos alargados con suelos de textura gruesa (gravilla y arena) que en los que tienen suelos de textura fina (de arcillosos a limosos). Nivelar el campo y construir acequias y reservorios puede resultar caro, pero una vez se han hecho, los costos son bajos y el agricultor o agricultora tiene una mayor capacidad de respuesta ante los cambios en las necesidades de riego.

El **riego por aspersión** consiste en una red de tuberías a través de las cuales se transporta el agua bajo presión antes de ser aplicada al cultivo mediante boquillas de aspersión. El sistema básicamente simula la lluvia, de manera que el agua se aplica mediante rociado desde una posición elevada.

Generalmente se utiliza una bomba centrífuga, que extrae el agua de la fuente y genera la presión adecuada para hacer fluir el agua por el sistema de tuberías. Los tubos de la línea principal y de la línea secundaria transportan el agua desde la bomba hasta los tubos laterales. Entonces, los tubos laterales llevan el agua hasta los aspersores. Si bien puede tratarse de una instalación permanente, lo más frecuente es que sean tubos portátiles y que estén confeccionados en materiales ligeros (p. ej., aluminio) fáciles de transportar.

Los aspersores rotativos funcionan mediante rotación de chorros de agua sobre la superficie a regar. Este sistema incluye aspersores de impacto y de mecanismo impulsado por engranajes, que producen chorros de agua, y boquillas rociadoras, que descargan el agua siguiendo unos patrones específicos.

Dados los elevados costos de inversión de capital, los sistemas más complejos (p. ej. pivotes centrales, sistemas de aspersión lateral sobre ruedas, etc.) se suelen usar en cultivos de alto valor, como las verduras. La operación de estos sistemas exige un nivel mayor de conocimientos técnicos, incluso aunque en general se necesite menos mano de obra debido al alto nivel de automatización. Los motores, tubos y otros componentes mecánicos requieren un mantenimiento sistemático para evitar que se deterioren y, por ende, los

elevados costos de reparación o sustitución que ello conlleva.

El riego por aspersión resulta indicado para la mayoría de los cultivos en línea, campos y árboles, y el agua se puede rociar por encima o por debajo de la cubierta del cultivo. Sin embargo, no se recomiendan aspersores de grandes dimensiones para cultivos delicados, como la lechuga, ya que las grandes gotas de agua que producen estos aspersores pueden dañar el cultivo.

El **riego localizado** consiste en “agua que se distribuye a baja presión a través de una red de tuberías, siguiendo un patrón predeterminado, y aplicada en forma de pequeña descarga en cada planta o al lado de esta” (AQUASTAT 2016).

Por lo general, un sistema de **riego por goteo** consta de una unidad de bomba, un cabezal de control, tubos principales y secundarios, tubos laterales y emisores o goteros. También pueden formar parte del mismo tanque de almacenamiento, filtros y dispositivos de fertirrigación.

Mediante el riego por goteo se aplica agua con más frecuencia que con otros métodos (normalmente entre 1 y 3 veces al día), proporcionando un nivel alto y favorable de humedad en el suelo. Mientras que la tasa de aplicación de agua esté por debajo de la capacidad de infiltración del suelo, no se produce saturación del suelo ni tampoco hay agua sobrante sobre la superficie ni fluyendo por ella. Esto permite un uso muy eficiente de los recursos hídricos y las pérdidas de agua se reducen al mínimo.

Aparte de ello, se pueden utilizar fertilizantes y nutrientes de forma altamente eficiente, ya que el agua se aplica localmente y se reduce la lixiviación. También se reduce el crecimiento de malas hierbas, pues los

nutrientes solamente se suministran a la planta cultivada.

No obstante, el riego por goteo implica costos de inversión inicial elevados, así como un alto nivel de conocimientos técnicos e inversiones regulares para la sustitución del equipamiento, que es susceptible de obstruirse y presentar un funcionamiento defectuoso, especialmente cuando la calidad del agua no es óptima. Asimismo, existe el riesgo de aumentar la salinidad del suelo.

El método resulta adecuado para la mayoría de los suelos. En los suelos arcillosos, el agua debe aplicarse lentamente para evitar que el agua superficial se encharque y provoque escorrentía. En los suelos arenosos, será necesario aumentar la tasa de descarga de los emisores para garantizar una humectación lateral adecuada del suelo.

El riego por goteo es el más adecuado para cultivos en línea, tales como los cultivos de verduras y frutas, arbóreos y de vid. Debido a sus altos costos de inversión, el riego por goteo tiende a ser utilizado para cultivos de alto valor.

Entre otros tipos de riego se cuentan:

Riego en **tierras bajas**, tales como (i) humedales cultivados y fondos de valles de interior que han sido equipados con estructuras de control del agua para riego y drenaje; (ii) áreas a lo largo de ríos en las que para el cultivo se utilizan estructuras construidas con el fin de retener el agua de inundaciones cuando esta se retira; (iii) manglares desarrollados y áreas de deltas equipadas.

El **riego por crecidas**, que utiliza las crecidas o arroyos efímeros y los canaliza hacia el lugar del cultivo mediante canales cortos y muy inclinados. Los diques suelen estar

construidos dentro de los arroyos con el fin de que puedan almacenar el agua cuando llegue.

¿QUÉ MÉTODO DE RIEGO ES EL MÁS INDICADO PARA LOS SISTEMAS CON ENERGÍA SOLAR?

Los sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua han experimentado avances significativos en la última década. Las limitaciones en el diseño de motobombas solares de la década de los años 1970 se han superado y las motobombas solares son ahora mucho más eficientes y fiables.

Actualmente, son compatibles con tecnologías de riego por goteo, por aspersión, por pivote o por inundación. Los sistemas abarcan desde configuraciones sofisticadas controladas por ordenador, con elevados costos iniciales, hasta sistemas de costos moderados, entre los que se incluyen burbujeadores, miniaspersores y riego por goteo.

En general, el tamaño (y el costo) del sistema de bombeo solar viene determinado por las necesidades de agua y presión del sistema de riego. Los métodos que funcionan con presiones de trabajo comparativamente bajas suelen ser la opción preferida en combinación con motobombas fotovoltaicas.

El riego por aspersión requiere una presión del agua relativamente alta para su funcionamiento, lo que exige un SPIS con un diseño adecuado. En contrapartida, el riego por goteo requiere baja presión y tiene potencial para aplicar el agua más eficientemente.

El riego por goteo —también llamado microrriego, riego localizado o riego gota a gota— se sirve de redes de tuberías y tubos para aplicar agua directamente a la superficie del suelo o la zona radicular de las plantas. Tiene el potencial de reducir el consumo de agua del llamado “cultivo

por gota”, minimizando las pérdidas por evaporación no productivas (p. ej. Narayanamoorthy, 2004; Rijsberman, 2006). Otra ventaja radica en que permite usar agua moderadamente salina para el riego. Las parcelas marginales de las tierras pueden utilizarse de forma productiva, ya que las técnicas de riego por goteo pueden aportar el agua y los nutrientes necesarios directamente a las plantas.

El riego por goteo es ideal para la producción de cultivos de alto valor, tales como verduras y frutas, cultivos arbóreos y vid, y gracias a su alto grado de eficiencia es posible hacer un cálculo bastante conservador del tamaño de la bomba solar.

Con todo, el riego por goteo implica un costo de capital inicial elevado y exige agua de calidad suficientemente buena (para evitar que se obstruyan los emisores) o un sistema de pretratamiento. Además, se necesita una buena gestión del riego para que el sistema funcione eficazmente, así como fertirrigación y mantenimiento del equipo.

Aptitud de los métodos de riego para bombas solares, adaptado de “Manual and Tools for promoting SPIS – Stocktaking and Analysis Report” (2015)

Método de riego	Eficiencia típica de la aplicación	Aptitud para su utilización con bomba solar
Inundación	40-50 %	Depende de las condiciones locales
Canales abiertos	50-60 %	Depende de las condiciones locales
Aspersor	70-80 %	sí
Goteo	85-95 %	sí

Aparte de estas consideraciones técnicas, hay otros factores que determinan la aptitud de los métodos de riego independientemente de la fuente de energía de las bombas. Entre ellos se incluyen condiciones naturales tales como:

- *El tipo de suelo*, que determina la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de infiltración;
- *la pendiente de la tierra*, que influye en el drenaje de agua y determina si es necesario o no nivelar la tierra;
- *el clima*, incluido el viento (p. ej. puede alterar el rociado de los aspersores), la radiación solar y los patrones de precipitación, así como la temperatura;
- *la disponibilidad de agua*, véase la sección 2;

- *la calidad del agua*, véase la sección 2;
- *los requisitos de resiliencia*, véase la sección 2.

También es importante considerar el tipo de cultivo tanto desde un punto de vista económico como desde un punto de vista agronómico. Debido a los mayores costos de inversión de capital por hectárea, el riego por aspersores y goteo se usa generalmente para cultivos de alto valor, como verduras, árboles frutales y especias. El riego por goteo es más adecuado para plantas individuales y cultivos arbóreos o en línea.

También hay que considerar otros aspectos socioeconómicos a la hora de seleccionar el método de riego. Por ejemplo, la mano de obra es uno de esos factores. La construcción, la operación y el mantenimiento del riego de superficie suele requerir más mano de obra que el riego por aspersión o goteo. Para el riego de superficie se requiere una nivelación precisa del suelo, mantenimiento regular y un alto nivel de organización por parte de los agricultores y agricultoras para operar el sistema. Otro aspecto por considerar son las complicaciones imprevistas que pueden surgir cuando se introducen nuevos métodos de riego. Conseguir que los agricultores y agricultoras cambien sus prácticas y utilicen el equipamiento puede suponer todo un reto.

A la hora de seleccionar un método de riego deben sopesarse estos aspectos y realizarse análisis de costo-beneficio de las opciones disponibles. Los costos abarcan la inversión de capital, la construcción e instalación, así como la operación y el mantenimiento, incluida la energía. Estos costos deberían compararse con los beneficios esperados, incluidos rendimientos, precios de mercado, costos operativos evitados y ahorros en mano de obra. Este análisis de costo-beneficio se

explica con mayor grado de detalle en el módulo de la caja de herramientas de SPIS **INVIERTE**.

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión de los diferentes métodos de riego y sus respectivas ventajas y desventajas;
- capacidad de tener en cuenta las condiciones naturales que afectan al riego en la elección del método de riego;
- aplicación adecuada del análisis de costo-beneficio;
- comprensión del conflicto de objetivos que implican los diferentes métodos de riego por lo que se refiere a los costos de capital y los costos operativos, la eficiencia hídrica y el aumento de la producción y los ingresos agrícolas.

DATOS REQUERIDOS

- Presión del agua;
- disponibilidad estacional del agua (agua asignada asegurando una extracción sostenible);
- calidad del agua;
- tipo de suelo;

- pendiente de la tierra;
- costos de capital, operación y mantenimiento;
- eficiencia fotovoltaica y potencia disponible;
- necesidades de potencia y presión de los diferentes métodos de riego.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Responsables políticos;
- asesores y asesoras/planificadores y planificadoras en materia de riego;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- agricultores y agricultoras.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Existen diferentes métodos de riego que aportan diferentes ventajas e inconvenientes.
- La decisión última sobre qué método de riego utilizar debería buscar el equilibrio entre los costos/beneficios financieros y ambientales a lo largo de la vida útil del activo.

6. PLANIFICAR LAS ESTRUCTURAS DE ENTRADA, CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

El principal reto de ingeniería de cualquier sistema de riego consiste en extraer agua de una fuente, suministrarla a la tierra a su debido tiempo y en la cantidad necesaria, distribuirla entre las diferentes explotaciones y los distintos campos de rotación de cultivos, y proporcionar la humedad del suelo requerida para las plantas que hay en los campos. Todo ello precisa energía para transportar el agua, mantener la presión y asegurar la calidad.

El funcionamiento del sistema debería ofrecer flexibilidad suficiente para suministrar agua al cultivo en cantidades y con programas variables que permitan al agricultor o la agricultora cierto margen de maniobra para gestionar la humedad del suelo con vistas a obtener los máximos rendimientos, así como el agua, la mano de obra y la conservación de energía.

El agua puede suministrarse de forma continua o rotatoria, con un ajuste relativamente fijo de la tasa y la duración del flujo. En esos casos, la flexibilidad a la hora de programar el riego está limitada a lo acordado mutuamente por cada agricultor o agricultora o grupo de agricultores y agricultoras dentro de sus áreas de influencia. En la fase de diseño preliminar, deberían evaluarse los límites del suministro de agua en cuanto a la consecución de un programa de riego óptimo (véase la sección 1).

ESTRUCTURA DE ENTRADA

La entrada de agua está vinculada a la extracción de una fuente de riego y el suministro a una red de riego. Puede funcionar por gravedad y por elevación de agua.

Las motobombas de energía solar pueden utilizarse para extraer tanto aguas superficiales como subterráneas. Hay dos

tipos básicos de bombas: bombas centrífugas y bombas de desplazamiento positivo. Ambas pueden utilizarse para un SPIS.

Para poder satisfacer la demanda pico es necesario un sobredimensionamiento de las bombas de agua, lo que significa que tienden a ser infrutilizadas fuera de la temporada. Hasta cierto punto, esta variabilidad estacional en la demanda de agua se puede equilibrar mediante la adaptación de las rotaciones de cultivos (incluidos cultivos permanentes) y la gestión del riego.

El rendimiento de las bombas solares depende de las necesidades de agua de los cultivos, la capacidad de almacenamiento de agua, la altura de bombeo (m) en la que se debe elevar el agua, el volumen de agua que debe bombearse (m^3), la energía virtual del sistema fotovoltaico (kWh), la energía de la bomba (kWh), la energía fotovoltaica no utilizada (kWh), la eficiencia de bombeo (%), la eficiencia del sistema (%), y la variación diurna de la presión de bombeo por modificación de la irradiancia y compensación de la presión. Todos estos factores tienen que tenerse en cuenta en el diseño del SPIS, por lo que, a fin de obtener resultados óptimos, debería confiarse esta labor a un experto.

Las fluctuaciones en la irradiancia solar, la acumulación de polvo en los módulos fotovoltaicos y las altas temperaturas afectan al rendimiento de los sistemas fotovoltaicos y, en consecuencia, a la bomba. Así pues, para fines de mantenimiento debería poder accederse fácilmente a los módulos fotovoltaicos.

La herramienta **DISEÑA – Herramienta de cálculo del bombeo** puede resultar útil para asegurar que el sistema de bombeo está diseñado conforme al fin previsto y

para evitar pérdidas de presión innecesarias.

CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Una vez que el agua entra, debe suministrarse mediante los *sistemas de conducción y distribución*. Los sistemas habituales de conducción y distribución son presas de derivación, canales y acequias revestidos o parcialmente revestidos, conductos, bocas de riego y otros medios.

Cabe distinguir entre provisión de agua para tierras de una sola explotación (sistema de riego para una explotación) o varias (sistema de riego entre explotaciones), asociaciones de explotaciones y empresas agrícolas, e incluso varios centros administrativos.

Un sistema de conducción y distribución mal planificado puede conllevar pérdidas de agua, baja eficiencia de riego y que se rieguen áreas mucho más pequeñas de lo previsto.

Existe a disposición software de diseño para la planificación del sistema de riego. Por ejemplo, GESTAR es un software desarrollado por el Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos, Área de Mecánica de Fluidos, de la Universidad de Zaragoza y puede utilizarse para sistemas de riego de entre media y gran escala. Las herramientas y métodos de GESTAR han sido diseñados específicamente para el riego presurizado (como el riego por aspersión y por goteo). También existen herramientas de planificación específicas de un método de riego.

¿CUÁLES SON LAS IMPLICACIONES DEL RIEGO CON ENERGÍA SOLAR EN RELACIÓN CON LA ENERGÍA?

El SPIS puede proporcionar una fuente de energía fiable y asequible en áreas rurales, permitiendo una disminución potencial de

los costos energéticos del riego y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los sistemas de bombeo con combustibles fósiles.

Los sistemas de riego utilizan energía para elevar agua de un pozo o reservorio, presurizar el agua para superar las pérdidas de fricción en los conductos, y distribuir agua uniformemente por el suelo. Por lo general, las bombas funcionan con diésel o energía eléctrica; en el último caso, a través de la red de suministro eléctrico o mediante fuentes de energía descentralizadas.

- **Eficiencia energética:** El grado de eficiencia con que los sistemas de riego usan el agua y la energía viene determinado, en primera instancia, por el tipo de sistema y el modo en que es operado, mantenido y gestionado. A la hora de especificar el tamaño de la bomba y diseñar los sistemas de distribución de agua, los ingenieros e ingenieras tienen en cuenta la distancia a la que debe ser elevada y transferida el agua, la profundidad desde la que hay que transportar el agua, y la fricción originada en las tuberías y canales, que viene determinada por la configuración, el diámetro y las presiones de trabajo. Asimismo, deberían tener en cuenta la resiliencia del sistema a escenarios climáticos futuros y cambios en los niveles de las aguas subterráneas que se pueden producir por la implementación generalizada de SPIS.

Los ahorros energéticos se pueden obtener gracias a un diseño eficiente (p. ej. configuración de tuberías), bombas del tamaño adecuado, y equipos optimizados (p. ej. mandos de regulación de la velocidad). Otro aspecto que cabe considerar es el conflicto de objetivos entre la eficiencia en la aplicación de agua y la eficiencia energética. Por ejemplo, hacer fluir agua por una red de riego por goteo

supone un gasto mayor de energía que dejarla correr por canales y surcos, pero el riego por goteo aplica el agua de forma más eficiente que un sistema de riego más eficiente en términos energéticos, como es el riego por pivote central.

- **Costos energéticos:** Los sistemas presurizados tienden a ser más eficientes, pero tienen un mayor consumo energético y, por tanto, implican mayores costos energéticos. Estos costos dependen de la fuente de energía, del precio de la energía por unidad y otros factores, tales como la profundidad del acuífero del cual se bombea el agua. Así pues, los costos energéticos potencialmente pueden revertir cualquier ahorro de costos previsto como resultado de invertir en mejorar la eficiencia de los sistemas de riego. Esto deja margen de maniobra para intervenciones a nivel técnico y de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de agua y energía y reducir los costos operativos.

Los sistemas fotovoltaicos con energía solar pueden proporcionar una fuente de energía alternativa, económicamente viable, que no emite gases de efecto invernadero. También tienen la ventaja de no depender de la disponibilidad y los costos de combustibles fósiles.

Sin embargo, requieren ciertos conocimientos previos sobre cómo configurar y usar las bombas solares de forma óptima. A diferencia de las bombas accionadas por motor, el dimensionamiento de los sistemas de riego fotovoltaicos constituye una decisión estratégica fundamental para los agricultores y agricultoras, dados los mayores costos de inversión inicial y la complejidad que implica diseñar, operar y mantener el sistema. Normalmente, este trabajo corresponde a expertos y expertas técnicos. Es necesario capacitar a los

agricultores y agricultoras en el uso del sistema fotovoltaico para obtener los máximos beneficios.

Pese a que los costos han descendido significativamente en los últimos años, la viabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos varía, especialmente en el caso de pequeños agricultores y agricultoras, para quienes una bomba solar supone una gran inversión. Por lo tanto, es necesario evaluar la viabilidad económica de este tipo de inversiones para determinar si la introducción de bombas fotovoltaicas es económicamente viable.

La herramienta **INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización** puede ser de utilidad para evaluar los costos de los sistemas solares en comparación con otros tipos de sistemas energéticos para el riego.

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión de los diferentes aspectos de un sistema de riego;
- visión de conjunto de cómo determinar el tamaño de bombas y otras partes de un SPIS;
- identificación de los ahorros de costos a largo plazo que reporta la instalación de un SPIS;
- comprensión de la necesidad de diseñar atendiendo a la resiliencia y adaptabilidad al sistema.

DATOS REQUERIDOS

- Volumen y presión de agua necesarios;
- tamaño de la bomba, costos de la bomba, necesidades de energía eléctrica;
- requisitos en cuanto al tamaño del sistema fotovoltaico y costo;
- estructuras y sistemas auxiliares, tamaños y costos.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Planificadores y planificadoras de sistemas de riego;
- gestores y gestoras del riego, grupos de usuarios y usuarias del agua u organización de agricultores y agricultoras;
- agricultores y agricultoras;
- financistas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Debería llevarse a cabo un análisis minucioso de costo-beneficio a lo largo del ciclo de vida.
- Deberían integrarse en el sistema la resiliencia y la adaptabilidad mediante medidas de diseño.
- Un sistema con un diseño deficiente puede causar daños en el entorno y a otros usuarios y usuarias de la cuenca hidrográfica.
- Se requieren conocimientos técnicos especializados para determinar el tamaño, instalar y mantener este tipo de sistemas.

7. CONSEJOS PARA UN RIEGO EFICIENTE

El agua de riego es un recurso muy valioso, no solo de manera directa para la producción agrícola, sino también indirectamente para el ecosistema en su conjunto. Por consiguiente, es esencial el uso inteligente y la conservación del agua de riego. Una serie de mejores prácticas y consejos puede ayudar a reducir el consumo general de agua, mejorar el crecimiento de las plantas y a obtener mayores rendimientos.

MAPA DEL SISTEMA DE RIEGO

Estudie la disposición de la tierra y marque el emplazamiento óptimo de las tuberías de riego, prestando atención a reducir el número de accesorios utilizados (predisposición a fugas). Tenga presente que las pendientes podrían provocar una distribución dispar del agua, lo que podría derivar en escorrentía. Por lo tanto, es recomendable nivelar el terreno y construir terrazas si se usa el riego por inundación o por aspersión (las líneas de goteo deberían discurrir en horizontal con respecto a la pendiente). El riego por aspersión dispersa el agua en un radio alrededor de la boquilla central. Determine el radio y coloque los aspersores de tal forma que se reduzcan al mínimo los solapamientos, a la vez que se garantiza que se cubre la máxima área posible (es decir, que haya pocas áreas que queden secas).

PRESERVAR LOS ÁRBOLES

Preferentemente, los árboles grandes deberían permanecer en el área de cultivo. No solamente proporcionan sombra que se desplaza, sino que determinadas especies (p. ej. acacias) albergan bacterias que fijan el nitrógeno, lo que mejora la fertilidad del suelo.

ENFOQUE AGROECOLÓGICO

Los [diez elementos de la agroecología](#) establecidos por la FAO ponen de relieve aspectos relacionados con los recursos, el

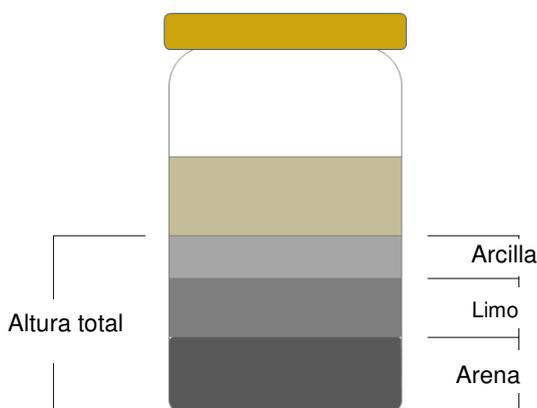
uso, la reutilización, la gobernanza y los derechos en torno al agua. Además, constituyen un medio para poner la vista sobre los impactos en la comunidad y el sistema alimentario en su conjunto, más allá de la intervención a nivel de explotación.

La herramienta **PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto**, incorpora, en cierta medida, estos elementos.

ANÁLISIS DEL SUELO

La humedad del suelo de la que disponen las raíces de las plantas depende del tipo de suelo. El tipo de suelo se puede determinar en el laboratorio analizando el tamaño de las partículas. Las partículas de arena, limo y arcilla tienen diferentes diámetros; cuando se pasan por un tamiz, su distribución proporciona información sobre el tipo de suelo. Otra forma de determinar el tipo de suelo es la llamada “prueba del tarro”:

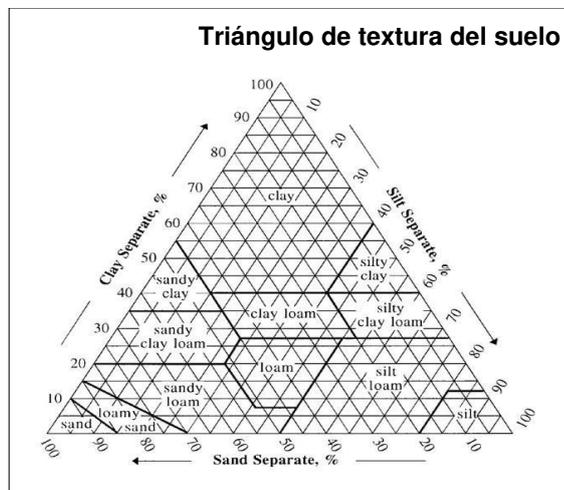
1. Recoja una muestra de suelo de la zona a regar.
2. Introduzca la muestra de suelo en el tarro (a la mitad) y rellene con agua (hasta dos terceras partes).
3. Agite el tarro y déjelo reposar durante dos horas; las partículas se irán sedimentando en el fondo en diferentes capas.
4. Mida la altura total del conjunto de todas las capas y luego la altura de cada una de las capas por separado.
5. Divida la altura de cada capa por la altura total; de este modo obtendrá el porcentaje de arcilla, limo y arena.



Capas de sedimentación en la prueba de suelo en el vaso de precipitados

(Fuente: K. Blumenthal)

Si se introducen los porcentajes obtenidos de arcilla, limo y arena en el triángulo de textura del suelo que se incluye a continuación, el triángulo indica el tipo de suelo presente.



Triángulo de textura del suelo

(Fuente: Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos)

La herramienta **RIEGA – Herramienta de suelos** describe las diferentes propiedades de los tipos de suelo y permite establecer un programa de riego basado en el suelo para diferentes cultivos.

PROGRAMA DE RIEGO

Mediante un programa de riego basado en mediciones de suelo-planta o atmosféricas se puede disminuir el uso de agua y, a la vez, mejorar los rendimientos. Los programas de software pueden recopilar datos meteorológicos, incluidos de temperatura local, precipitaciones, humedad y evapotranspiración de los cultivos, y brindar recomendaciones para elaborar un programa de riego óptimo (véase el [Estudio FAO Riego y Drenaje 56](#)). La herramienta **RIEGA – Herramienta de suelos** permite establecer un programa de riego basado en el suelo para diferentes cultivos.

MANTILLO

Cubrir el suelo con mantillo (acolchado, *mulching*) es una técnica eficaz para reducir la evaporación de la humedad del suelo, aislar frente al frío y mejorar gradualmente la composición orgánica de los suelos. Ayuda a prevenir la compactación del suelo, actúa como acondicionador del suelo, y fomenta la presencia de aireadores naturales, como las lombrices de tierra. Asimismo, añade nutrientes, al contribuir a que haya disponibilidad de potasio, y puede aportar nitrógeno, fósforo y oligoelementos al suelo. Además, es una forma ideal de reciclar los residuos de los cultivos.

El mantillo comprende la superposición de materiales orgánicos (paja, corteza, hojarasca, paja de maíz) o inorgánicos (láminas de PVC) sobre el área de cultivo, a través de los cuales pueden crecer los cultivos. La cobertura que proporciona el mantillo también se puede obtener intercalando cultivos, por ejemplo, poniendo plantas rastreras (melón, calabaza) entre las hileras de maíz. Entre las consideraciones importantes para tener en cuenta en relación con el mantillo se incluyen:

- Una vez que ha empezado a cubrir con mantillo, no lo deje. Eliminar el mantillo

secará el suelo y puede producir daños en las raíces que están debajo del mismo.

- Aplicar mantillo cubriendo parte del tronco de un árbol puede provocar problemas de podredumbre en la corteza, enfermedades y plagas de insectos. Por ese motivo, se deben dejar varios centímetros entre la base del árbol y la capa de mantillo.
- Evite la aplicación excesiva de mantillo. La aplicación de mantillo en capas demasiado gruesas puede provocar que las raíces crezcan de forma poco profunda y que sean más propensas a secarse durante períodos de sequía prolongados. Como norma general, la capa de mantillo no debería exceder los 5 cm.
- Use mantillos leñosos o de corteza en áreas donde es necesario cavar poco, p. ej., alrededor de árboles y en macizos de flores. Los materiales de mantillo más ligeros, que se pueden incorporar fácilmente al suelo, resultan más adecuados para cultivos estacionales y huertos en los que se produce una replantación de forma regular.
- Antes de aplicar una nueva capa de mantillo, rastille bien removiendo la capa antigua. El mantillo, especialmente de materiales leñosos, puede compactarse con el tiempo, impidiendo así la aireación del suelo y la penetración de agua.

CULTIVO INTERCALADO

El cultivo intercalado consiste en una práctica de cultivos múltiples que implica cultivar dos o más especies en estrecha proximidad. El objetivo más común del cultivo intercalado es producir un mayor rendimiento en un terreno determinado aprovechando recursos o procesos ecológicos que, de otra forma, no se utilizarían con un cultivo único (*Ouma, George; Jeruto, P. (2010)*). Los elementos del cultivo intercalado (*Wikipedia*,

“Intercropping” (en inglés), consultado en enero de 2018) incluyen:

- **Partición de recursos:** Se requiere una planificación meticulosa, teniendo en cuenta el suelo, el clima, los cultivos y las variedades. Es particularmente importante que los cultivos no compitan entre sí por el espacio físico, los nutrientes, el agua o la luz del sol. Ejemplos de estrategias de cultivo intercalado son: plantar un cultivo de raíces profundas con un cultivo de raíces poco profundas, o plantar un cultivo alto con un cultivo más bajo que requiere sombra parcial.
- **Mutualismo:** Plantar dos cultivos en estrecha cercanía puede resultar especialmente beneficioso cuando las dos plantas interactúan de modo que se mejora el estado de una o de ambas plantas (y, por tanto, el rendimiento). Por ejemplo, a las plantas propensas a volcarse con el viento o con fuerte lluvia (plantas que tienden a caerse), se les puede brindar soporte estructural mediante un cultivo de acompañamiento. Las plantas trepadoras también pueden beneficiarse del soporte estructural. Algunas plantas se utilizan para eliminar las malas hierbas o proporcionar nutrientes. A las plantas delicadas o sensibles a la luz se les puede dar sombra o protección, o se puede utilizar el espacio que si no se desaprovecharía. Un ejemplo al respecto es el sistema tropical de múltiples niveles, en el cual el coco ocupa el nivel superior, el plátano el intermedio, y la piña, el jengibre, las leguminosas forrajeras, y las plantas medicinales o aromáticas, el nivel inferior. El cultivo intercalado de plantas compatibles puede asimismo fomentar la biodiversidad, al proporcionar un hábitat para una serie de insectos y organismos del suelo que no estarían presentes en un entorno de cultivo único. Estos organismos pueden aportar a los cultivos nutrientes valiosos, por

ejemplo, mediante la fijación de nitrógeno.

- **Gestión de plagas:** Son varias las formas en que el aumento de la diversidad de cultivos puede mejorar la gestión de plagas. Por ejemplo, este tipo de prácticas puede limitar los brotes de plagas en los cultivos aumentando la biodiversidad de los depredadores. Además, reducir la homogeneidad del cultivo tiene el potencial de aumentar las barreras contra la dispersión biológica de organismos causantes de plagas en todo el cultivo. Existen varias formas de controlar las plagas mediante el cultivo intercalado:

- Los cultivos trampa consisten en plantar cerca un cultivo que sea más atractivo para las plagas que el cultivo de producción agrícola, entonces las plagas atacarán a ese cultivo y no al cultivo de producción.
- Los cultivos repelentes ejercen un efecto repelente sobre ciertas plagas. Enmascaran el olor del cultivo de producción agrícola con el fin de mantener alejadas a las plagas.
- El cultivo de repulsión-atracción es una combinación de cultivos trampa y de los cultivos intercalados repelentes. Un cultivo atrae a la plaga, y otro cultivo la repele.

Los funcionarios y funcionarias de extensión agrícola y los asesores y asesoras deberían poder brindar orientación sobre el cultivo intercalado y los cultivos de acompañamiento.

CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Asegurarse de que el agua de lluvia no se escurre, sino que se filtra hacia capas más profundas del suelo, evita la erosión de las capas superficiales del suelo y puede mejorar la recarga de las aguas

subterráneas y la humedad del suelo en las capas profundas. Los surcos colocados estratégicamente pueden atrapar el agua de lluvia y desviarla hacia áreas de cultivo (o el pozo de bombeo), mientras que las canaletas de evacuación en el tejado que desembocan en tanques de almacenamiento de agua pueden crear reservas para la estación seca.

SEGUIMIENTO

Hacer un seguimiento regular del consumo de agua y de los niveles de humedad del suelo permite determinar mejor los recursos hídricos necesarios para garantizar la salud de los cultivos. Los caudalímetros y los medidores manuales de la humedad del suelo son dispositivos importantes, mediante los cuales se recaban datos y se registran para el análisis.

SURCOS MEJORADOS

Existen numerosas técnicas para optimizar el flujo de agua a través de surcos, como, por ejemplo, tapar los surcos con láminas de plástico PVC o lajas de piedra para reducir la evaporación; revestir o reafirmar los surcos principales para reducir la tasa de infiltración de agua en la parte elevada del terreno (entonces se dispone de agua adicional que puede descender por el surco, como resultado se obtiene un avance más rápido hacia la parte del terreno menos elevada y se mejora la distribución del agua); u optimizar los ángulos de las pendientes para garantizar un flujo de agua eficiente.

EVITAR LA EVAPORACIÓN

La evaporación desde los sistemas de almacenamiento y de conducción de agua no cubiertos supone una pérdida directa de recursos hídricos hacia la atmósfera. Esta pérdida tiene implicaciones financieras en los casos en que se incurre en costos para bombear el agua de un pozo o se adquiere de un proveedor de servicios. Para detener la evaporación es necesario restringir la

energía solar que incide sobre el agua (que incrementa el nivel energético de las moléculas de agua) y reducir su exposición al aire seco. Cuando el agua se evapora forma una capa húmeda de aire por encima de la superficie, reduciendo la capacidad del aire de absorber más moléculas de agua procedentes del líquido. Si se mueve el aire, se aleja el vapor de agua del área sobre la superficie del agua y se sustituye por aire más seco, aumentando la evaporación. Es recomendable usar tanques sellados o cubrir los tanques de almacenamiento y los canales abiertos. Para los reservorios o presas de riego de mayores dimensiones se pueden considerar cubiertas flotantes, junto con cortavientos (p. ej. setos y árboles) alrededor del perímetro. Estos últimos pueden también contribuir a sombrear la superficie del agua, reduciendo así la energía cinética disponible para las moléculas del agua.

HORARIOS DE RIEGO

En principio, es mejor regar durante las horas de la mañana, empezando justo antes del amanecer. El aire más frío y el viento de escasa velocidad reducen las pérdidas por evaporación, y se asegura a los cultivos un suministro adecuado de agua en la zona radicular como preparación para las temperaturas diurnas más elevadas. No se recomienda aplicar agua en las últimas horas de la tarde ni por la noche, ya que los cultivos no pueden absorber el agua disponible y el agua estancada propicia la propagación de plagas y hongos.

RESULTADO / PRODUCTO

- Comprensión de algunos enfoques prácticos para reducir la demanda de agua de riego.

DATOS REQUERIDOS

- Información sobre cultivo intercalado y cultivos de acompañamiento;
- propiedades del suelo en las áreas de cultivo.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Funcionarios y funcionarias de extensión agrícola y asesores y asesoras agrícolas;
- planificadores y planificadoras de riego y proveedores de servicios;
- especialistas en horticultura y permacultura.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La eficiencia del riego solamente puede garantizarse haciendo un seguimiento activo y regular. Cualquier medida de mejora debería escrutarse a fondo antes de implementarse, y debería recopilarse información de referencia (p. ej. cantidad de agua consumida, cantidad de fertilizante añadido). Comparar la información de referencia con los nuevos datos obtenidos tras la medición permite evaluar el éxito o el fracaso de la mejora. Esto profundiza nuestro entendimiento.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

- Allen, R. 1998. "Evapotranspiración del cultivo".
Estudio FAO Riego y Drenaje
N.º 56. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- FAO. 2016. Sitio web de AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Sitio web consultado el 27/03/2018.
- Berbel, J. & Mateos, L., 2014. "Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model", *Agricultural Systems*, Elsevier, Vol. 128, págs. 25-34.
- FAO. 2016. *Water accounting and auditing: A sourcebook*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. 2016b. *Exploring the Concept of Water Tenure*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- FAO. 2013. *Multiple uses of water services in large irrigation systems*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- FAO. 2012. *Directrices voluntarias sobre la gobernanza responsable de la tenencia de la tierra, la pesca y los bosques en el contexto de la seguridad alimentaria nacional*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- FAO. 2011. *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, y Londres, Earthscan.
- FAO. 2007. *Modernizing irrigation management – the MASSCOTE approach*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- FAO. 2006. *Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management*. Roma: Fertiliser and Plant Nutrition Bulletin N.º 16.

Faurès, J.-M., Svendsen, M. y Turrall, H. 2007. Re-inventing irrigation. En: D. Molden (editor). Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Earthscan, Londres, Reino Unido, e International Water.

Management Institute, Colombo, Sri Lanka. HR. Hudson. 2005. Sustainable Drainage Management. New Zealand Water Environment Research Foundation.
http://www.wet.org.nz/wp-content/uploads/2012/03/fieldguide_final.pdf.

Moriarty, P. et al. 2007. The EMPOWERS Approach to Water Governance: Guidelines, Methods and Tools.
http://waterwiki.net/images/d/d2/EMPOWERS_Guidelines%2C_Methods_and_Tools.pdf.

Narayanamoorthy, A. 2004. "Impact Assessment of Drip Irrigation in India: The Case of Sugarcane", Development Policy Review, Vol. 22, N.º4, págs. 443-462.

Rijsberman, Frank. 2006. "Water Scarcity: Fact or Fiction?" Agricultural Water Management, Vol. 80, N.º 1-3, págs. 5-22.

Salinity Management Handbook 2011. Queensland Government, Australia.
<https://publications.qld.gov.au/storage/f/2013-12-19T04%3A10%3A23.754Z/salinity-management-handbook.pdf>.

Savv AP, Frenken K. 2002. Irrigation manual planning, development, monitoring and evaluation of irrigated agriculture with farmer participation. Vol. I, módulos 1-6.

Sustainable Agriculture Information Initiative. 2010. Technical Manual – Soil and Water Conservation. https://wocatpedia.net/images/1/18/Technical_Manual_Soil_and_Water_Conservation.pdf.

Sustainable Agriculture Information Initiative. 2010. Technical Manual – Conservation Agriculture. http://www.fao.org/ag/ca/CA-Publications/Technical_Manual_Conservation_Agriculture.pdf.

Walker, W.R. 2003. Surface irrigation simulation evaluation and design. Guide and technical documentation. Logan: Utah State University.
http://ocw.usu.edu/biological_and_irrigation_engineering/surface_irrigation_design/sirmod_iii_manual.pdf.

Contabilidad del agua: <http://wateraccounting.org/>.

WOCAT Global Database on Sustainable Land Management:
<https://qcat.wocat.net/en/wocat/>.

Herramientas de SPIS

PROMUEVE – Herramienta de evaluación de impacto

RIEGA – Herramienta de suelos

DISEÑA – Herramienta de cálculo del bombeo

También son relevantes las siguientes herramientas asociadas a otros módulos:

SALVAGUARDA EL AGUA – Herramienta de cálculo de necesidades de agua

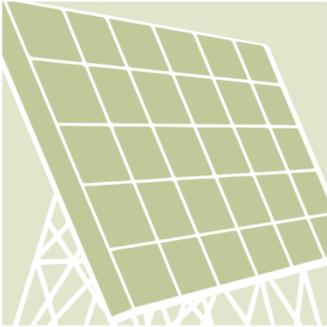
INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización

INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico

DISEÑA – Plantilla para la recogida de datos

POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 10: Mantenimiento

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

Descargar

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.

Implemented by

© GIZ y FAO, 2018

 Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

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 _T	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 ²	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
Vd	Daily crop water requirement (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

MANTENIMIENTO

1. Establecer y mejorar el plan de mantenimiento



2. Seleccionar un proveedor de servicios adecuado



3. Implementar rutinas de mantenimiento



4. Documentación y seguimiento

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

El mantenimiento de un SPIS no requiere competencias técnicas avanzadas y, en general, exige menos esfuerzos que la mayoría de las demás tecnologías. No obstante, sí requiere un buen seguimiento sistemático para prever problemas y reaccionar con tiempo a las necesidades de servicio. Dada la relativamente elevada inversión inicial, es importante que cada componente del SPIS reciba un mantenimiento adecuado. Además, es imprescindible observar los cambios en otros factores que afecten al desempeño del sistema, tales como la disponibilidad de agua, el estado del suelo, etc.

PASOS DEL PROCESO

Las rutinas de mantenimiento influyen en la eficiencia operativa y el tiempo de vida del SPIS. El productor o productora puede establecer el plan de mantenimiento con la ayuda de un proveedor profesional de servicios. El presente módulo ofrece ejemplos de listas de verificación para dicha causa. Es importante que las actividades de mantenimiento se documenten y se vigilen con precisión.



Canal de riego de hormigón

(Fuente: Lennart Woltering)

1. ESTABLECER Y MEJORAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO

Tras la instalación del sistema, el proveedor de tecnología o el proveedor de servicios debe entregar al productor o productora un manual de operación (v. módulo **MONTAJE**). Este manual contiene instrucciones para la operación, el mantenimiento y la solución de problemas, además de los datos de contacto del proveedor de servicios. Basándose en él, el proveedor de servicios y el productor o productora deben desarrollar un plan de mantenimiento, el cual será revisado regularmente por el productor o productora y el asesor o asesora agrícola.

Las listas de verificación son útiles para asegurar que el mantenimiento se realiza con regularidad y de forma adecuada. Para ello, la caja de herramientas de SPIS contiene listas de verificación del mantenimiento adecuado del generador fotovoltaico y del sistema de riego. Los siguientes aspectos son importantes para cada uno de los componentes principales de un SPIS:

- **Fuente de agua y motobomba:** Por lo general, las motobombas solares no necesitan mucho mantenimiento cuando se utilizan con fuentes de agua limpias, libres de arena, sedimentos y plantas acuáticas. Por ello, la fuente de agua debe mantenerse limpia. En tales condiciones, las bombas pueden durar más de 10 años.
- **Paneles solares y estructura de montaje:** Los paneles solares y su estructura de montaje requieren por lo general muy poco mantenimiento, puesto que no tienen piezas móviles. No obstante, los paneles deben mantenerse limpios y libres de sombra, y las estructuras de montaje deben ser estables. El conjunto o sistema fotovoltaico debe protegerse de animales y de la caída de objetos. Bien cuidados, los paneles solares y las estructuras de montaje pueden durar más de 20 años.
- **Dispositivos electrónicos y de control:** Dado que son muy sensibles al sobrecalentamiento, los controladores/inversores deben instalarse en lugares en que esté garantizado su correcto funcionamiento. Entre los factores a tener en cuenta figuran la temperatura ambiente, la capacidad de disipación de calor (ventilación) y la humedad relativa. Por razones de servicio y mantenimiento, el controlador debe ser fácilmente accesible. Además, entre el generador fotovoltaico y el controlador tiene que haber un interruptor de circuito. A los insectos y los animales pequeños, tales como las lagartijas, les gusta construir sus nidos en las cajas de conexiones, donde pueden dañar los componentes electrónicos (p. ej., a causa del ácido fórmico). De ahí que sea esencial sellar bien todas las aberturas (p. ej., con prensaestopas).
- **Sistema de riego:** Si se aplica riego por goteo, el agua debe filtrarse, dado que los emisores de goteo pueden obstruirse fácilmente. Dependiendo de la carga de sedimentos del agua, los filtros deben limpiarse regularmente (hasta varias veces al día). Esto requiere cierto nivel de conocimientos y habilidades técnicas. Además, las líneas de goteo deben lavarse regularmente, y los goteros se deben examinar para ver si están obstruidos y, de ser necesario, reemplazarlos. La herramienta **MANTENIMIENTO – Guía para la aplicación uniforme del agua** se aplica para verificar la uniformidad de la distribución del

agua en un sistema de riego por goteo. Esta verificación forma parte de la prueba de aceptación del sistema (v. módulo **MONTAJE**), pero también es parte de una inspección de rutina. Debe tenerse en cuenta también que las aguas duras (aguas de riego con altas concentraciones de cal) dan lugar a la formación de depósitos que obstruyen las tuberías expuestas al calor (luz solar directa).

La siguiente página ofrece un resumen de los fallos más comunes observados sobre el terreno y los problemas que estos ocasionan.

EJEMPLOS DE ERRORES COMUNES DE INSTALACIÓN

Conexión peligrosa de cables

Aunque el instalador o instaladora ha usado cinta aislante de caucho para aislar los conductores, la conexión de los cables ha quedado expuesta en el suelo. La seguridad es cuestionable, sobre todo durante el riego o en tiempos de fuertes lluvias.

Corrosión galvánica de un sistema de seguimiento manual

Con el tiempo, los objetos de metal están sujetos a oxidación y corrosión. La corrosión afecta normalmente a los metales no preciosos, tales como el acero, el zinc y el aluminio. En presencia de aire, agua o sal, estos metales se corroen rápidamente, por lo que deben cubrirse con un sellador que los proteja.

Capacidad limitada de disipación de calor de la carcasa corroída de un controlador

La carcasa de metal del controlador de la motobomba presenta marcas extensas de corrosión. Además, la carcasa carece de ventilación natural, por lo que al cerrar su tapa frontal puede producirse un sobrecalentamiento del controlador.

lugares donde no haya riesgo de sombras. Una sombra que caiga sobre una pequeña parte del panel puede causar un efecto sorprendentemente grande en la producción de electricidad, debido a que las celdas del panel están conectadas normalmente en serie, y por tanto, las que reciben sombra inciden en el flujo de corriente de todo el panel.

EJEMPLOS DE MANTENIMIENTO INADECUADO

Suciedad acumulada en el borde inferior de un panel fotovoltaico

Aunque la mugre no afecta sino a una pequeña parte del panel, el impacto negativo en la eficiencia del panel es importante. Puede eliminarse fácilmente con agua limpia y fregando con una esponja envuelta en un paño o con un cepillo suave.

Sombras provocadas por la falta de mantenimiento de la cubierta vegetal del suelo

Los paneles solares producen menos potencia cuando se ven afectados por sombras, por lo que deben instalarse en



Conexión peligrosa de cables, corrosión galvánica de un sistema de seguimiento manual, capacidad limitada de disipación de calor de la carcasa corroída de un controlador; ejemplos de mantenimiento inadecuado: suciedad acumulada en el borde inferior del panel fotovoltaico, sombras sobre un panel fotovoltaico provocadas por falta de mantenimiento de la cubierta vegetal del suelo (Fuente: Andreas Hahn, 2015)

RESULTADO / PRODUCTO

- Plan de mantenimiento;
- **MANTENIMIENTO – Lista de verificación del mantenimiento;**
- **MANTENIMIENTO – Guía para la aplicación uniforme del agua.**

DATOS REQUERIDOS

- Instrucciones para el mantenimiento adecuado de cada componente del SPIS;
- lista de verificación para el análisis del agua.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras/grupos de productores y productoras;

- asesores y asesoras agrícolas;
- proveedores de tecnología y servicios (electricistas, empresas proveedoras de sistemas fotovoltaicos).

ASUNTOS IMPORTANTES

- El mantenimiento regular es indispensable para el funcionamiento eficiente y a largo plazo de cualquier sistema de bombeo e irrigación.
- Si se mantienen correctamente, los SPIS son fiables y sus costos de mantenimiento son bajos.
- Los planes de mantenimiento deben revisarse regularmente con el proveedor de tecnología/servicios y el asesor o la asesora agrícola.



Limpeza de los paneles solares en Ghana como actividad de mantenimiento rutinaria

(Fuente: Lennart Woltering)

2. SELECCIONAR UN PROVEEDOR DE SERVICIOS ADECUADO

Dado que el SPIS consta de múltiples componentes que tal vez no puedan ser instalados por un solo proveedor, es muy probable que haya varias partes interesadas involucradas en el mantenimiento del SPIS.

Son importantes los siguientes **servicios de mantenimiento**:

- capacitación/introducción a las operaciones y el uso de las herramientas de mantenimiento;
- visitas regulares de inspección y mantenimiento (especialmente en los primeros meses de funcionamiento);
- suministro de un manual de operaciones y herramientas de mantenimiento (copias impresas);
- garantía de los componentes;
- servicio de resolución de problemas (en línea, por teléfono).

Idealmente, el contrato con el proveedor técnico y/o la empresa responsable de la instalación debería incluir servicios de mantenimiento.

En caso de avería del sistema, no olvidar verificar si existe una garantía que cubra los componentes y el servicio. En cualquier caso, el productor o productora no debe tratar de reparar por sí mismo el componente defectuoso, ya que corre el riesgo de perder la garantía.

Tratándose de paneles solares, la garantía es una “garantía de desempeño” (o rendimiento) que normalmente decrece con el paso de los años (p. ej., 90 % de rendimiento después de 10 años; 80 % de rendimiento después de 20 años).

Se recomienda seleccionar un instalador o instaladora que pueda prestar también servicios de mantenimiento. De no ser posible, se deben obtener y comparar dos o tres cotizaciones de diferentes proveedores de servicios:

- determinar si los precios cotizados se refieren a la misma gama/tipo de servicios;
- analizar las propuestas con otros expertos y expertas técnicos (asesores y asesoras agrícolas, institutos de investigación, etc.);
- analizar las propuestas con proveedores técnicos a fin de comprender los detalles;
- decidir y contratar un proveedor de servicios de mantenimiento **antes de la puesta en funcionamiento del sistema**.

RESULTADO / PRODUCTO

- Contrato de servicio.

DATOS REQUERIDOS

- Cotizaciones de proveedores de servicios;
- detalles del contrato.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras/grupos de productores y productoras;
- asesores y asesoras agrícolas;
- proveedores de tecnología y servicios (electricistas, empresas proveedoras de sistemas fotovoltaicos).

ASUNTOS IMPORTANTES

- Idealmente, el contrato con el proveedor técnico y/o la empresa responsable de la instalación debería incluir servicios de mantenimiento.
- Los proveedores de tecnología y servicios pueden prestar una valiosa asistencia/capacitación; ¡solicítela!

3. IMPLEMENTAR RUTINAS DE MANTENIMIENTO

Una vez establecido el plan de mantenimiento y se hayan identificado las personas responsables, el mantenimiento debe convertirse en rutina.

Actividades básicas de un mantenimiento regular:

1. Verificar diariamente si el sistema está funcionando.

Si la motobomba no está funcionando:

- a) revisar la fuente de agua y las tuberías (¿hay suciedad, obstrucciones, suficiente agua?);
- b) revisar la electrónica (¿hay partes quemadas, cables sueltos, luces de emergencia?).

2. Verificar una vez por semana:

- a) la energía generada por el sistema fotovoltaico;
- b) el desempeño de la bomba (caudal de bombeo);
- c) el estado de la fuente de agua (pureza del agua);
- d) el estado del controlador y la electrónica (signos visibles de mal funcionamiento);

- e) que no haya emisores de goteo obstruidos;
- f) el estado de la instalación de almacenamiento de agua y las tuberías (filtraciones, nivel del agua);
- g) el estado de los paneles solares y su sistema de montaje (estabilidad, limpieza).

3. Limpiar los paneles solares entre cada dos y cuatro semanas:

- a) con agua limpia, y fregando un poco con una esponja envuelta en un paño o un cepillo suave, se puede eliminar la suciedad más persistente;
- b) limpiar a primera hora de la mañana o al caer el sol, cuando los paneles no están calientes;
- c) no pisar los paneles ni caminar sobre ellos porque podrían dañarse.

Nota: Los paneles calientes no se deben rociar con agua fría – ¡podrían rajarse!



Inspección visual de los paneles solares (Fuente: Lennart Woltering)

4. Cada dos o tres meses a lo largo de todo el año, el sistema fotovoltaico debe someterse a una inspección rigurosa que garantice:

- a) que no crezcan plantas cerca de los paneles, las estructuras de montaje, la fuente de agua, el controlador, la caja de conexiones, etc.;
- b) que sobre los paneles no caigan sombras (producidas por plantas, postes, cercos, etc.) para aprovechar al máximo la irradiación solar;
- c) que no esté dañado el cerco que protege el conjunto fotovoltaico;
- d) que las estructuras de montaje son estables.

Además, debe limpiarse regularmente el reservorio y lavarse con regularidad el sistema de riego.

Nota: Inspeccionar siempre el sistema **tras fuertes vientos, granizadas, tormentas eléctricas o terremotos** que hayan afectado a la región.

Después de una primera experiencia con un plan de mantenimiento determinado, el cronograma y la frecuencia del mantenimiento podrán cambiarse para adaptarlos a las condiciones locales y las capacidades del productor o productora.

Nota: Llamar al proveedor de tecnología (paneles, bombeo, controlador) o al electricista (electrónica) que instaló el sistema para pedir ayuda; esto debería ser parte del contrato de servicios.

RESULTADO / PRODUCTO

- Plan de mantenimiento;
- hojas de mantenimiento;
- lista de verificación para visitas a terreno;
- hoja de inspección semanal;
- hoja de inspección bimestral;
- **MANTENIMIENTO – Lista de verificación de mantenimiento.**

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras/grupos de productores y productoras;
- asesores y asesoras agrícolas;
- proveedores de tecnología y servicios (electricistas, empresas proveedoras de sistemas solares).

ASUNTOS Y DECISIONES IMPORTANTES

- El mantenimiento de un SPIS no requiere competencias técnicas avanzadas y, en comparación con la mayoría de las demás tecnologías, exige menos esfuerzos generales.
- Es importante establecer rutinas de inspección y mantenimiento y programarlas como parte del plan de trabajo de la granja.

4. DOCUMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO

El sistema de monitoreo de un SPIS consta de contadores de agua, medidores de presión y otros instrumentos de medición. Las mediciones del flujo de agua, los niveles de agua y las presiones del sistema son de fundamental importancia para la operación de un SPIS. El sistema de monitoreo se utiliza, además, para:

- obtener datos para la prueba de aceptación del sistema tras su instalación;
- observar el funcionamiento y el desempeño del sistema en cualquier momento;
- controlar el suministro y el consumo de agua;
- prevenir el agotamiento de aguas subterráneas y los riesgos ambientales conexos.

Incluso un sistema de monitoreo sencillo que conste únicamente de un contador de agua y un medidor del nivel de agua sería útil para mejorar la toma de decisiones en torno a la operación de un SPIS.

Durante la operación diaria y las inspecciones regulares del SPIS, el productor o productora debe recoger y registrar de manera sistemática datos sobre el sistema y su desempeño. Tales datos son de fundamental importancia para el productor o productora y el proveedor de servicios porque permiten a estos realizar análisis regulares del funcionamiento del sistema. Las observaciones, los resultados de las verificaciones de desempeño y las reparaciones deben documentarse de manera sistemática. Es pues muy recomendable llevar un cuaderno de registros.

RESULTADO / PRODUCTO

- Cuaderno de datos de monitoreo.

DATOS REQUERIDOS

- Costos de reemplazos y servicios (facturas, fechas, breve descripción de las causas);
- resultados de visitas de mantenimiento de asesores o asesoras agrícolas y/o proveedores de tecnología/servicios (lista de verificación del mantenimiento);
- fallos del sistema (fecha, descripción).

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productores y productoras/grupos de productores y productoras;
- asesores y asesoras agrícolas;
- proveedores de tecnología y servicios (electricistas, empresas proveedoras de sistemas solares).

ASUNTOS IMPORTANTES

- La recolección de datos debe estar asociada al plan de mantenimiento;
- los datos deben recogerse con regularidad;
- puede que el productor o productora necesite asistencia y/o capacitación inicial para estar en condiciones de registrar y analizar correctamente los datos;
- los esfuerzos de mantenimiento pueden resultar vanos si las aguas subterráneas de la región no se gestionan de forma adecuada; por ello, deben vigilarse también los niveles del agua subterránea.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Enlaces

NETAFIM: Drip Irrigation Maintenance. Recuperado de <http://www.netafim.com/>

Herramientas de SPIS

MANTENIMIENTO – Lista de verificación del mantenimiento

MANTENIMIENTO – Guía para la aplicación uniforme del agua

También son relevantes las siguientes herramientas asociadas a otros módulos:

DISEÑA – Plantilla para la recogida de datos: sobre los recursos humanos disponibles en la explotación para la operación y el mantenimiento.

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 fertirrigación)	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° en el ecuador a 90° (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	Expresa la cantidad de agua que requiere el sistema de riego. [mm]
Necesidades de agua de los cultivos	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	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 potencia 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 ²].
Riego de superficie	Método de irrigación que utiliza la superficie del suelo para transportar el agua mediante el flujo por gravedad desde la

	<p>fuente a las plantas. Los siguientes son métodos comunes de riego de superficie:</p> <p>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</p> <p>Riego por compartimientos (bancales o eras) – el agua es aplicada a una superficie completamente nivelada rodeada por diques</p> <p>Riego por inundación – el agua es aplicada a la superficie del suelo sin controles de flujo, tales como surcos o crestas.</p>
Riego por goteo	<p>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”.</p>
Salinidad (salino)	<p>La salinidad hace referencia a la cantidad de sales disueltas en el agua del suelo.</p>
Seguimiento del punto de máxima potencia, MPPT	<p>Es un circuito electrónico dentro del inversor que deja operar el generador solar en el punto de máxima potencia eléctrica.</p>
Transpiración	<p>Agua captada por las raíces de las plantas y transpirada por las hojas. [mm]</p>
Tubos laterales	<p>Tubo(s) que van de las válvulas de control a los aspersores o tubos emisores de gotas.</p>
Viabilidad financiera	<p>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 INVIERTE).</p>
Voltaje (U o V)	<p>Voltaje o tensión eléctrica es el potencial existente entre dos puntos, o la diferencia de carga entre dos puntos, expresado en voltios [V].</p>
Zona radicular	<p>Profundidad o volumen de suelo del que las plantas extraen agua con eficacia. [m]</p>