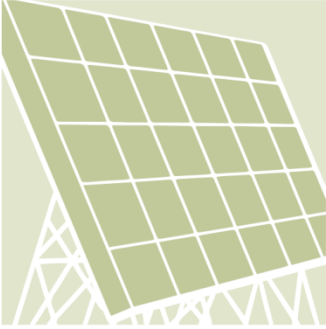


POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 5: 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

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

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 – Herramienta de 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.



Photo: Lennart

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 – Herramienta de 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. **INFORMATE** – 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.

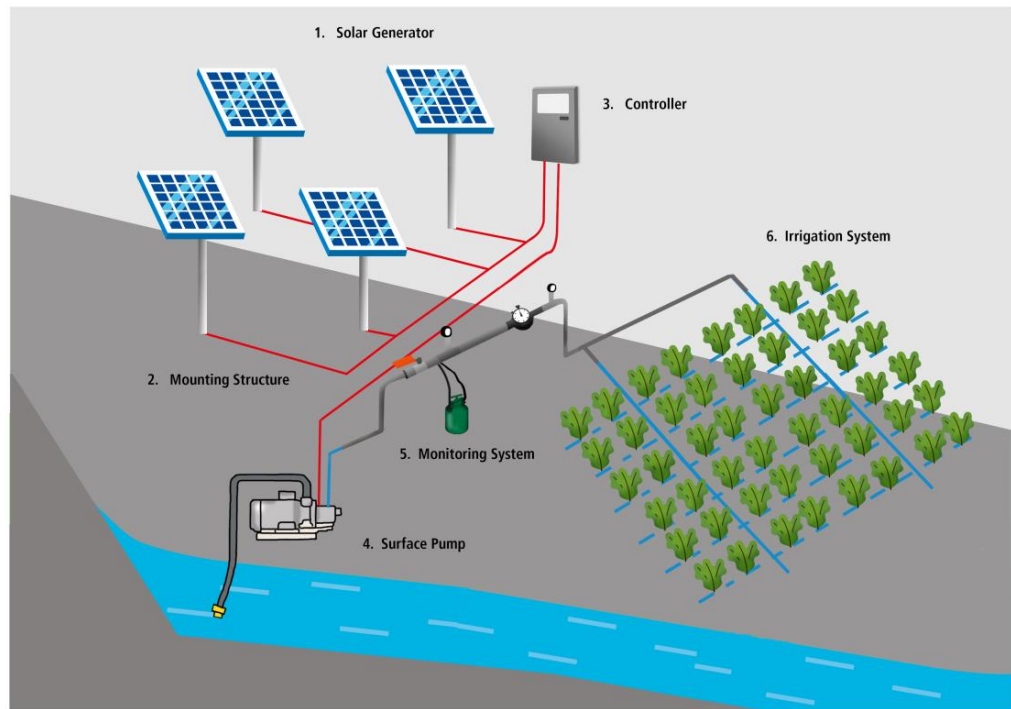
El módulo **INFÓRMATE** ofrece una vista de conjunto y una descripción de diferentes configuraciones de los componentes individuales.

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.

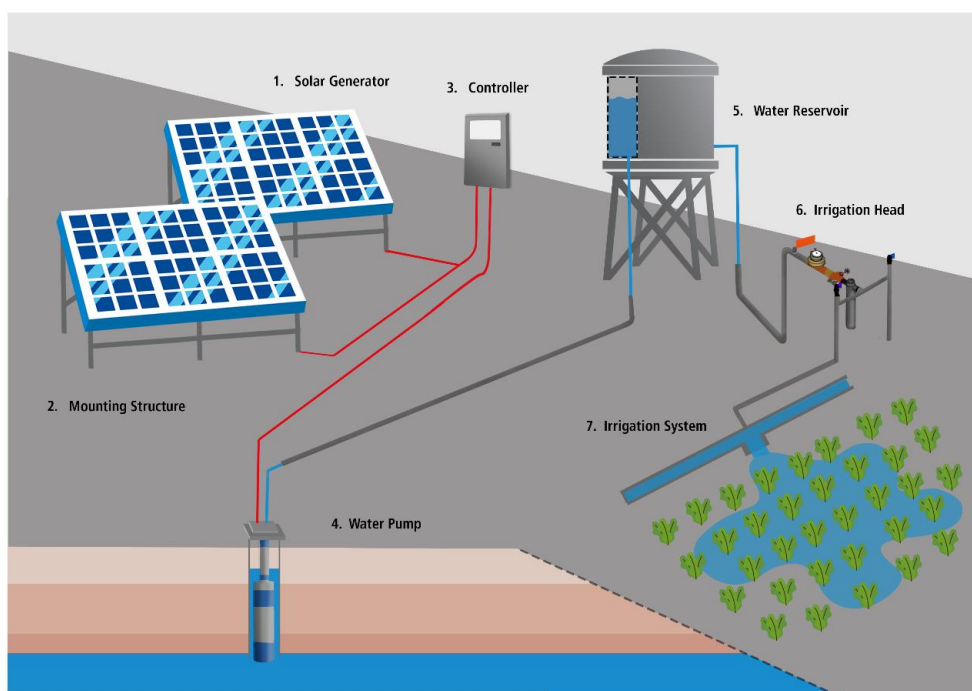
PERSONAS/PARTES INTERESADAS

- 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:

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

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.

que resulta un grado bastante bajo de utilización del sistema.

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

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 – Herramienta de 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 estimación de las necesidades de agua

RIEGA – Herramienta de suelos

INVIERTE – Herramienta de cálculo de amortización

INVIERTE – Herramienta de cálculo del balance económico