



## **FOMENTO DE TECNOLOGÍAS DE RIEGO SOSTENIBLE:**

Una perspectiva del nexo agua-energía-alimentos para la reducción del riesgo climático de pequeños agricultores en alto riesgo climático en los municipios de Rabinal y San Miguel Chicaj en el corredor seco de Baja Verapaz, Guatemala.

### **E5. Proyectos Piloto SPIS en Comunidades Seleccionadas**

DATE 12/01/26

REF CI-24-00129

VERSION 1.0

PREPARADO PARA



**PROYECTO:** FOMENTO DE TECNOLOGÍAS DE RIEGO SOSTENIBLE:  
Una perspectiva del nexo agua-energía-alimentos para la reducción del riesgo climático de pequeños agricultores en alto riesgo climático en los municipios de Rabinal y San Miguel Chicaj en el corredor seco de Baja Verapaz, Guatemala.

**CLIENTE** Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)  
Climate Technology Centre and Network (CTCN)

**CONSULTOR:** Trama TecnoAmbiental, S.L. (TTA)

**FINANCIADO POR:** Fondo de Adaptación a través del Acelerador de Innovación Climática (AFCIA), implementado por el CTCN

## E4. Selección de Tecnologías

DOCUMENTOS RELACIONADOS	TIPO DE DOCUMENTO	BORRADOR / FINAL	FECHA DE ENTREGA
E1. Plan de Trabajo Plan de Monitoreo y Declaración de Impacto Línea base del AFCIA Tracker	Word y Excel	Final	9/02/2025
E2. Diagnóstico de Prácticas de Riego y Coordinación con Organizaciones Locales	Word	Final	16/05/2025
E3. Desarrollo de tres diseños potenciales para el Sistema de Riego Solar (SPIS), en función de estructuras organizativas sociales, cultivos y potencial dentro de la cadena de valor	Word	Final	6/08/2025
E4. Selección de Tecnologías	Word	Draft	15/12/2025

**AUTORA** Alma Cota

**APROBADO POR**

**ESTADO DEL DOCUMENTO** BORRADOR

## Tabla de Contenido

Figuras iv

Glosario .....	v
Resumen Ejecutivo .....	6
1. Introducción .....	7
1.1. ....Antecedentes.....	7
1.2. ....Objetivo .....	8
1.3. ....Estructura del informe .....	8
2. Descripción de los Proyectos Piloto Propuestos .....	10
2.1. ....Criterios para la selección de los sitios piloto propuestos .....	10
2.2. ....Alcance y limitaciones de los sitios piloto propuestos.....	11
2.3. ....Sitios seleccionados para proyectos piloto .....	12
2.3.1. CADER Guachipilín, Rabinal.....	12
2.3.2. CADER El Llano, San Miguel Chicaj .....	12
2.4. ....Propósito y enfoque del proyecto piloto .....	14
2.5. ....Alcance del proyecto piloto.....	14
3. Planificación Técnica y Operativa del Proyecto Piloto.....	17
3.1. ....Enfoque de la planificación técnica.....	17
3.2. ....Configuración técnica del sistema SPIS piloto.....	17
3.2.1. Guachipilín: SPIS con rebombeo para el riego de 0.35 ha.....	18
3.2.2. El Llano: SPIS sin rebombeo para el riego de 0.7 ha.....	19
3.3. ....Actores involucrados y roles.....	22
3.4. ....Supuestos y condiciones para la implementación de proyectos piloto .....	24
3.5. ....Especificaciones técnicas preliminares.....	25
3.6. ....Identificación y validación de proveedores e instaladores .....	28
3.7. ....Planificación de la implementación y cronograma .....	30
3.7.1. Etapas de implementación del piloto.....	30
3.7.2. Cronograma preliminar de instalación y puesta en marcha.....	31
3.7.3. Articulación con el Monitoreo y Evaluación del proyecto.....	31
4. Monitoreo y Evaluación del Proyecto Piloto SPIS .....	32
4.1. ....Enfoque metodológico .....	32
4.2. ....Alcance temporal del M&E .....	33
4.3. ....Marco preliminar de indicadores .....	33
4.3.1. Agua.....	33
4.3.2. Energía.....	33
4.3.3. Producción agrícola y seguridad alimentaria.....	34
4.3.4. Dimensión económica.....	34

4.3.5.	Género y fortalecimiento social .....	34
4.3.6.	Cambio climático y resiliencia.....	34
4.4.	.....Fuentes de información y métodos de recolección .....	34
4.5.	.....Roles y responsabilidades en el M&E.....	35
4.6.	.....Uso de los resultados del Monitoreo y Evaluación .....	36
5.	Capacitación inicial, transferencia de competencias y diseminación del conocimiento ..	37
5.1.	.....Enfoque metodológico de la capacitación.....	37
5.2.	.....Capacitación inicial para la operación del sistema SPIS.....	37
5.3.	.....Sensibilización, resiliencia y planificación productiva .....	38
5.4.	.....Articulación entre capacitación y Monitoreo y Evaluación .....	39
5.5.	.....Rol demostrativo de los CADER piloto .....	39
5.6.	.....Transferencia de competencias a nivel institucional .....	40
5.7.	.....Diseminación del conocimiento y articulación con actores locales .....	40
5.8.	.....Contribución de la capacitación a la adopción de la hoja de ruta SPIS.....	41
6.	Resultados Esperados del Proyecto Piloto .....	42
6.1.	.....Resultados técnicos y operativos.....	42
6.2.	.....Resultados productivos, de seguridad alimentaria y valorización de productos en el mercado local .....	43
6.3.	.....Resultados en capacidades y apropiación tecnológica.....	43
6.3.1.	Capacidades instaladas en pequeños productores .....	44
6.3.2.	Capacidades institucionales fortalecidas en el MAGA.....	44
6.3.3.	Capacidades fortalecidas en los proveedores de tecnología .....	44
6.3.4.	Fortalecimiento de capacidades de los referentes locales de Monitoreo y Evaluación	44
6.4.	.....Resultados institucionales y territoriales .....	45
6.5.	.....Resultados para la hoja de ruta y el escalamiento del SPIS.....	45
7.	Conclusiones.....	47

## Figuras

Figura 1. Alianza en territorio: Integrantes del CADER El Llano, MARN y el equipo TTA trabajando juntos por el desarrollo comunitario. ....	13
Figura 2. Actividades de trabajo de campo en el sitio piloto de El Llano, donde un técnico solar vuela un dron y comparte la experiencia con los beneficiarios. ....	15
Figura 3. Configuración SPIS para el proyecto piloto en Guachipilín. ....	19
Figura 4. Caso 1. Configuración SPIS para el proyecto piloto en Del Llano. ....	20
Figura 5. Caso 2. Configuración SPIS para el proyecto piloto en Del Llano. ....	21
Figura 6. Sesión de trabajo con integrantes del CADER El Llano para definir el nivel de compromiso y participación en la implementación del proyecto piloto SPIS. ....	40

## Glosario

Abreviación	Descripción
<b>AFCIA</b>	Acelerador de Innovación Climática, mencionado como financiador del proyecto
<b>CADER</b>	Centros de Aprendizaje para el Desarrollo Rural
<b>CDT</b>	Carga Dinámica Total
<b>CTCN</b>	Centro y Red de Tecnología Climática -- Climate Technology Centre and Network
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - Food and Agriculture Organization
<b>FV</b>	Fotovoltaico
<b>HP</b>	Caballo de fuerza -- Horsepower
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
<b>MPPT</b>	Seguimiento del punto de máxima potencia -- Maximum Power Point Tracking)
<b>SPIS</b>	Sistemas de Riego Solar -- Solar Powered Irrigation Systems
<b>TTA</b>	Trama TecnoAmbiental S.L.

## Resumen Ejecutivo

El presente informe desarrolla la planificación técnica, operativa e institucional de proyectos piloto de Sistemas de Riego Solar (SPIS, por sus siglas en inglés de Solar-Powered Irrigation Systems) orientados a pequeños productores agrícolas del corredor seco del Departamento de Baja Verapaz. Su propósito es preparar las condiciones para la implementación de pilotos demostrativos, cuya ejecución permitirá generar evidencia práctica que sustente decisiones futuras de adopción, réplica y escalamiento de la tecnología en el marco de una hoja de ruta nacional.

El documento se basa en un proceso integrado de análisis técnico, visitas de campo y revisión del mercado local de tecnologías de bombeo solar, realizado en coordinación con actores institucionales y comunitarios. A partir de este proceso se definen configuraciones técnicas preliminares, adaptadas a contextos productivos de pequeña escala caracterizados por información hídrica limitada, infraestructuras existentes heterogéneas y condiciones topográficas diversas.

Las soluciones SPIS propuestas contemplan esquemas autónomos e híbridos solar-red, integrados con sistemas de riego por goteo y almacenamiento, y están concebidas para priorizar la simplicidad operativa, la confiabilidad técnica y la apropiación por parte de los usuarios. La implementación de los pilotos permitirá validar en condiciones reales de operación los supuestos técnicos y operativos que sustentan estas configuraciones.

El informe incorpora un enfoque estructurado de Monitoreo y Evaluación, basado en el nexo Agua-Energía-Alimentos e integrando consideraciones de seguridad alimentaria, género y adaptación al cambio climático. Este enfoque está orientado a generar información relevante sobre el desempeño de los sistemas y los procesos de apropiación tecnológica, sin plantear la medición de impactos de largo plazo.

Finalmente, el documento presenta de manera estratégica los resultados que se espera generar a partir de la implementación del proyecto piloto, destacando su contribución potencial a la mejora de la seguridad energética del riego, la continuidad de la producción agrícola y la generación de aprendizajes técnicos e institucionales. En su conjunto, el proyecto piloto se concibe como un instrumento habilitante para reducir la incertidumbre asociada a la adopción de sistemas SPIS y fortalecer, con evidencia de campo, la implementación progresiva de la hoja de ruta.

# 1. Introducción

## 1.1. Antecedentes

La presente asistencia técnica se desarrolla en el marco del proyecto “*Fomento de Tecnologías de Riego Sostenible*”, implementado por el Climate Technology Centre and Network (CTCN) en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de Guatemala, y financiado por el Fondo de Adaptación a través del Acelerador de Innovación Climática (AFCIA). El objetivo general de esta iniciativa es promover la implementación y adopción sostenible de sistemas de riego solar (SPIS, por sus siglas en inglés de Solar-Powered Irrigation Systems) entre pequeños agricultores en condiciones de alta vulnerabilidad climática, mediante un enfoque integral que articula dimensiones técnicas, sociales y económicas bajo el nexo agua-energía-alimentos.

El proyecto se orienta a fortalecer la resiliencia climática y la seguridad hídrica y alimentaria de los pequeños productores en los municipios de Rabinal y San Miguel Chicaj, en el corredor seco del Departamento de Baja Verapaz, una región caracterizada por sequías recurrentes, alta variabilidad climática y limitaciones estructurales en el acceso al agua y a la energía. En este contexto, los sistemas de riego solar se presentan como una alternativa estratégica para mejorar la productividad agrícola, reducir la dependencia de fuentes energéticas costosas e inestables y aumentar la capacidad adaptativa de los hogares rurales.

En una primera fase de la asistencia técnica, se llevó a cabo un diagnóstico participativo de las prácticas de riego existentes y de las condiciones productivas locales, basado en trabajo de campo y en la participación activa de agricultores, organizaciones comunitarias, instituciones académicas, entidades gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil, agencias de cooperación internacional y actores del sector privado. Este análisis permitió identificar limitaciones técnicas, económicas y sociales asociadas al uso del agua para riego, así como oportunidades para la adopción de tecnologías de riego más eficientes y sostenibles.

Sobre la base de estos resultados, la segunda fase del proyecto (Producto E3) se enfocó en el diseño y dimensionamiento de configuraciones técnicas de sistemas SPIS adaptadas a las condiciones reales de los pequeños productores. En esta etapa se desarrollaron 16 dimensionamientos preliminares, considerando distintos escenarios de carga dinámica total y caudales, de los cuales se seleccionaron cuatro configuraciones representativas para superficies agrícolas de 0.35 y 0.7 hectáreas (ha), equivalentes a 0.5 y 1 manzana (mza). Las soluciones diseñadas incorporan diversas combinaciones tecnológicas, incluyendo sistemas con estanques intermedios y doble bombeo, tanques elevados con distribución por gravedad y sistemas híbridos solar-red eléctrica, concebidos para garantizar la continuidad del riego en contextos de baja irradiación solar o recarga nocturna de los pozos.

En una tercera etapa (Producto E4), correspondiente a la Selección de Tecnologías, el trabajo se centró en evaluar y seleccionar, a partir de las configuraciones previamente diseñadas, las tecnologías de bombeo solar más adecuadas para una futura implementación piloto. Este proceso integró criterios técnicos, económicos y de contexto socioinstitucional, así como un análisis detallado del mercado de bombeo solar en Guatemala, identificando la existencia de proveedores, instaladores y capacidades técnicas locales suficientes. Asimismo, se desarrolló un análisis económico que evidenció que la adopción de SPIS en la región debe entenderse principalmente

como una inversión en resiliencia climática, seguridad alimentaria y reducción de la vulnerabilidad energética, más que como un proyecto estrictamente rentable en el corto plazo.

El presente documento corresponde a la fase siguiente de la asistencia técnica y se enfoca en la planificación del proyecto piloto de SPIS, tomando como punto de partida las configuraciones técnicas diseñadas y las tecnologías previamente seleccionadas. Este entregable tiene como propósito definir de manera detallada los aspectos técnicos, logísticos, financieros y operativos necesarios para el despliegue de un proyecto piloto en campo, que permita validar en condiciones reales la viabilidad, el desempeño y el potencial de escalamiento de las soluciones propuestas.

Es importante señalar que la implementación efectiva del proyecto piloto estará condicionada a la disponibilidad de financiamiento y a la toma de decisiones por parte del cliente y de los actores clave. No obstante, esta fase se orienta a generar todos los insumos preparatorios necesarios para que, en caso de aprobación y asignación de recursos, la ejecución del piloto pueda llevarse a cabo de forma eficiente, estructurada y alineada con las capacidades locales existentes.

## 1.2. Objetivo

El objetivo del presente informe es elaborar y documentar el plan de implementación del proyecto piloto de sistemas de riego solar (SPIS, por sus siglas en inglés de Solar-Powered Irrigation Systems) en el corredor seco del departamento de Baja Verapaz, a partir de las tecnologías previamente seleccionadas, definiendo los lineamientos técnicos, operativos, logísticos y de acompañamiento institucional necesarios para su ejecución.

El informe establece las configuraciones técnicas preliminares de los sistemas SPIS piloto, describe los sitios de intervención, propone un enfoque de implementación, capacitación y Monitoreo y Evaluación, y precisa los requerimientos clave para asegurar una instalación adecuada, una operación inicial funcional y un mantenimiento preventivo básico, en coherencia con las condiciones reales del territorio.

Asimismo, el documento sienta las bases técnicas y operativas para una eventual ampliación de la adopción de sistemas SPIS, al generar insumos, criterios y aprendizajes que podrán informar procesos futuros de contratación, asistencia técnica, réplica y escalamiento, en alineación con la hoja de ruta para la adopción sostenible de esta tecnología por pequeños productores.

## 1.3. Estructura del informe

Este documento se organiza en secciones que presentan de manera secuencial y articulada los elementos necesarios para la planificación, preparación e implementación potencial de proyectos piloto de sistemas SPIS, así como para la generación de evidencia que sustente su futura réplica y escalamiento:

**2. Descripción de los proyectos piloto:** Presenta el enfoque general del piloto, los criterios de selección de los sitios, las comunidades beneficiarias y el propósito demostrativo de la intervención.

**3. Planificación técnica y operativa del proyecto piloto:** Describe en detalle las configuraciones técnicas de los sistemas SPIS, los actores involucrados y sus roles, los supuestos de implementación, las especificaciones técnicas preliminares, la identificación de proveedores, y la planificación logística y temporal de la instalación y puesta en marcha.

**4. Monitoreo y Evaluación del proyecto piloto:** Define el enfoque metodológico, el alcance temporal, los indicadores, los roles y los mecanismos para el seguimiento del desempeño técnico, productivo, social y económico de los sistemas SPIS, bajo el enfoque del nexo agua-energía-alimentos.

**5. Capacitación inicial, transferencia de competencias y diseminación del conocimiento:** Describe el enfoque progresivo de capacitación y acompañamiento, orientado a la apropiación tecnológica por parte de los pequeños productores, el fortalecimiento de capacidades institucionales y la difusión territorial de los aprendizajes del piloto.

**6. Resultados esperados del proyecto piloto:** Presenta de manera cualitativa y estratégica los resultados técnicos, productivos, sociales, institucionales y estratégicos que se espera generar a través del piloto, así como su contribución a la hoja de ruta para la adopción y escalamiento de sistemas SPIS.

**7. Conclusiones:** Sintetiza los principales aportes del informe y destaca las implicaciones estratégicas del proyecto piloto para la toma de decisiones futuras, sujetas a la disponibilidad de financiamiento y a las definiciones institucionales correspondientes.

## 2. Descripción de los Proyectos Piloto Propuestos

El presente capítulo describe el enfoque, el alcance y los criterios que sustentan la definición de los proyectos piloto de Sistemas de Riego Solar (SPIS) en el marco de la presente asistencia técnica. Los proyectos piloto constituyen una etapa clave en la transición desde el diseño y la selección tecnológica hacia una eventual implementación en campo, al permitir la validación en condiciones reales de la viabilidad técnica, operativa y social de las soluciones propuestas.

La definición de los proyectos piloto se basó en un proceso de coordinación interinstitucional y análisis técnico-social que incluyó reuniones de trabajo y actividades de campo con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), así como la revisión de información generada en fases previas del proyecto. Este proceso integró criterios técnicos relacionados con la disponibilidad hídrica, la infraestructura existente y las condiciones de operación del sistema, junto con criterios sociales orientados a maximizar el impacto comunitario, la apropiación tecnológica y el potencial demostrativo de los pilotos.

En este contexto, los proyectos piloto se conciben como plataformas de validación, aprendizaje y demostración, destinadas a generar evidencia técnica y social que sustente decisiones futuras de réplica, escalamiento y movilización de financiamiento. El capítulo define además los supuestos, alcances y limitaciones de esta fase, con el fin de gestionar expectativas y asegurar la coherencia entre los objetivos del piloto y las capacidades institucionales y comunitarias disponibles. Este enfoque permite delimitar claramente el alcance del piloto y sentar las bases para su implementación ordenada y su eventual escalamiento.

### 2.1. Criterios para la selección de los sitios piloto propuestos

La selección de los sitios para los proyectos piloto de sistemas SPIS se realizó a partir de los criterios acordados durante las reuniones de coordinación con ingenieros extensionistas del MAGA. Dichos criterios integran consideraciones técnicas, sociales y operativas, orientadas a facilitar la implementación del piloto y maximizar su impacto demostrativo.

Es importante señalar que los criterios de selección aplicados para la identificación de los sitios piloto son específicos para esta fase demostrativa del proyecto, y no coinciden necesariamente con los criterios planteados en el modelo de negocio desarrollado en el Producto E2: Diagnóstico de Prácticas de Riego y Coordinación con Organizaciones Locales, el cual responde a objetivos y alcances distintos.

En este proceso se priorizaron sitios de los municipios de San Miguel Chicaj y Rabinal, y se siguieron los siguientes criterios para la identificación de los sitios piloto propuestos:

#### **Criterios sociales y de impacto comunitario**

- Alto impacto social, con énfasis en grupos organizados de agricultoras.
- Organización comunitaria activa a través de Centros de Aprendizaje para el Desarrollo Rural (CADER).

- Grupos CADER que ya muestran avances productivos gracias al acompañamiento previo de MAGA y FAO.
- Potencial del sitio para funcionar como referencia demostrativa y espacio de capacitación para otros agricultores.
- Capacidad organizativa que facilite procesos de monitoreo y seguimiento del piloto.

#### **Criterios técnicos y de infraestructura existente**

- Existencia de un pozo funcional como fuente de agua para riego.
- Disponibilidad de un sistema de almacenamiento de agua ya instalado.
- Preferentemente, existencia de un sistema de riego por goteo en operación, en particular aquellos provistos por la FAO.
- Condiciones que permitan a los proveedores de tecnología realizar el dimensionamiento técnico específico del sistema SPIS.

#### **Criterios operativos para la fase piloto**

- Sitios donde la adopción del sistema piloto sea expedita, dadas las capacidades técnicas y organizativas existentes.
- Experiencia previa de los grupos en prácticas de riego y manejo de infraestructura agrícola.
- Disponibilidad del sitio para visitas técnicas de proveedores de bombeo solar y para procesos de validación social.
- Viabilidad de dedicar al menos una jornada por sitio para validación social y coordinación local.

#### **Consideraciones estratégicas**

- Priorizar sitios que permitan iniciar rápidamente el diseño técnico de los sistemas solares.
- Seleccionar grupos con condiciones habilitantes para documentar aprendizajes y lecciones del piloto.

## **2.2. Alcance y limitaciones de los sitios piloto propuestos**

La priorización de CADER que ya cuentan con avances productivos, organizativos y técnicos responde al objetivo de facilitar una implementación expedita del proyecto piloto, reduciendo riesgos operativos y permitiendo validar la tecnología SPIS en un plazo acotado. Sin embargo, esta decisión no implica que dichos grupos representen el nivel promedio de desarrollo de los CADER en la región.

La experiencia acumulada durante el diagnóstico evidencia que la mayoría de los CADER del corredor seco presentan niveles de desarrollo significativamente menores, tanto en términos de infraestructura como de capacidades técnicas y organizativas. En este sentido, los proyectos piloto deben entenderse como un mecanismo de validación y demostración, cuya adopción plena y replicabilidad en otros CADER requerirá procesos adicionales de fortalecimiento de capacidades, acompañamiento técnico y capacitación progresiva.

Por ello, si bien los proyectos piloto están orientados a una implementación relativamente rápida, la adopción generalizada de la tecnología SPIS es un proceso de mediano plazo, que deberá adaptarse a los distintos niveles de madurez de los CADER y ser acompañada por una hoja de ruta de capacitación y apoyo institucional acorde a estas diferencias.

## 2.3. Sitios seleccionados para proyectos piloto

### 2.3.1. CADER Guachipilín, Rabinal

El proyecto piloto en la comunidad de Guachipilín, municipio de Rabinal, se implementará con un CADER que cuenta con más de diez años de trayectoria organizativa y está integrado por aproximadamente 17 mujeres, bajo la coordinación de la Sra. Ernesta Ampérez. El grupo se caracteriza por su estabilidad, su liderazgo consolidado y un esquema de gestión solidaria, en el cual las utilidades generadas por la producción agrícola se distribuyen de manera equitativa entre las participantes.

La parcela donde se desarrollará el piloto es propiedad de la coordinadora del CADER y ha sido utilizada de manera continua para actividades agrícolas, gracias a una gestión organizada y al compromiso sostenido del grupo. Durante la visita técnica realizada en abril de 2025 se levantó la información necesaria para evaluar la viabilidad técnica del sitio y su adecuación para la implementación de un sistema de riego solar.

En noviembre de 2025 se llevó a cabo un taller participativo con las integrantes del CADER, en el cual se socializaron los objetivos del proyecto piloto, los criterios de selección y las responsabilidades de las partes involucradas. En este espacio, las participantes manifestaron un alto interés en mejorar la eficiencia productiva, diversificar cultivos, asegurar el acceso al agua para riego y fortalecer la seguridad alimentaria de sus hogares, así como en asumir el cuidado y resguardo del equipo que se instale.

El piloto en Guachipilín busca consolidar los procesos organizativos existentes, fortalecer el liderazgo de las mujeres rurales y demostrar los beneficios del uso de tecnologías de riego sostenible adaptadas a contextos de pequeña producción agrícola.

### 2.3.2. CADER El Llano, San Miguel Chicaj

El proyecto piloto en la comunidad de El Llano se desarrollará con un CADER integrado por 11 personas, hombres y mujeres de distintas edades, en su mayoría con vínculos familiares. El grupo es coordinado por la Sra. Aura González y ha demostrado un alto nivel de organización, cohesión interna y compromiso con la producción agrícola.

Durante las visitas de campo realizadas en abril y noviembre de 2025, se constató una evolución significativa en la parcela, reflejada en la ampliación del área cultivada, la construcción de un estanque para la crianza de alevines y la instalación de una infraestructura básica de riego. Estos

avances evidencian las capacidades técnicas y organizativas adquiridas por el grupo a través de procesos previos de asistencia técnica, así como su disposición para adoptar nuevas tecnologías productivas.

Con base en estos elementos, y tras una reunión de validación en terreno con el MARN, se acordó asignar uno de los proyectos piloto a esta comunidad, al cumplir con los criterios de elegibilidad definidos: organización comunitaria activa, participación de mujeres, experiencia previa en producción agrícola, capacidad de gestión colectiva y compromiso para funcionar como sitio demostrativo de sistemas SPIS.

El piloto en El Llano tiene como objetivo fortalecer la eficiencia en el uso del agua y la energía, mejorar la productividad agrícola y contribuir a la seguridad alimentaria de las familias participantes, promoviendo al mismo tiempo el trabajo comunitario y la sostenibilidad del sistema implementado.



*Figura 1. Alianza en territorio: Integrantes del CADER El Llano, MARN y el equipo TTA trabajando juntos por el desarrollo comunitario.*

## 2.4. Propósito y enfoque del proyecto piloto

El proyecto piloto de sistemas SPIS tiene como propósito principal validar en condiciones reales de campo la viabilidad técnica, operativa y social de las soluciones de riego solar previamente diseñadas y seleccionadas en el marco de esta asistencia técnica. El piloto se concibe como un instrumento estratégico para evaluar el desempeño de la tecnología, identificar oportunidades de mejora y reducir los riesgos asociados a una eventual réplica o escalamiento.

Más allá de la instalación de un sistema de riego, el enfoque del proyecto piloto es demostrativo y orientado al aprendizaje, con el objetivo de fortalecer las capacidades locales para la operación y el mantenimiento de los SPIS, así como de promover la apropiación tecnológica por parte de los beneficiarios. En este sentido, el piloto integra de manera articulada los componentes técnicos con los aspectos sociales, organizativos e institucionales que condicionan la sostenibilidad de la tecnología en contextos de pequeña agricultura.

El proyecto piloto se fundamenta en el enfoque del nexo agua-energía-alimentos, reconociendo que la adopción de SPIS contribuye simultáneamente a mejorar el acceso al agua para riego, reducir la vulnerabilidad energética y fortalecer la seguridad alimentaria y los medios de vida rurales. Asimismo, el piloto no se concibe como un fin en sí mismo, sino como un mecanismo de validación y generación de evidencia, orientado a informar la toma de decisiones de instituciones públicas, cooperantes y otros actores interesados en promover soluciones de riego sostenible en el corredor seco de Guatemala

Este enfoque se alinea con las prioridades nacionales en materia de seguridad alimentaria y nutricional, así como con los esfuerzos institucionales orientados a fortalecer la resiliencia de la agricultura familiar frente al cambio climático

## 2.5. Alcance del proyecto piloto

El proyecto piloto de sistemas SPIS contempla un alcance técnico, geográfico y temporal claramente delimitado, acorde con su carácter demostrativo y con la disponibilidad de recursos en esta fase de la asistencia técnica. La definición de este alcance tiene como objetivo gestionar expectativas, reducir riesgos de implementación y asegurar la coherencia entre los objetivos del piloto y las capacidades institucionales y comunitarias existentes.

Desde el punto de vista técnico, los proyectos piloto se fundamentan en las configuraciones de sistemas SPIS desarrolladas en el Entregable 3 y en las tecnologías seleccionadas en el Entregable 4, las cuales establecen el marco de referencia tecnológico del proyecto. Las configuraciones propuestas para los pilotos se definieron a partir de este conjunto de alternativas; sin embargo, la selección final de la configuración a implementar y el nivel de detalle técnico de cada sistema dependen de los hallazgos verificados en campo, de acuerdo con las condiciones específicas de cada sitio.

En este sentido, los sistemas de riego solar que se presentan en este documento no corresponden a soluciones estandarizadas, sino que responden a las necesidades técnicas particulares de cada sitio piloto. El diseño de los sistemas considera variables críticas como la demanda diaria de agua para riego, la carga dinámica total, la capacidad hídrica y el tiempo de recuperación de los pozos, así como la infraestructura existente y la topografía del terreno. Adicionalmente, el acceso o no a la red eléctrica condiciona el esquema de operación del sistema, ya sea bajo configuraciones completamente solares o híbridas solar-red.

Para la verificación de estas condiciones, se realizaron visitas de campo a los sitios seleccionados, en las cuales dos proveedores de tecnología de bombeo solar evaluaron directamente las particularidades hidráulicas, productivas y operativas de cada sitio, y validaron las demandas reales de los sistemas. Este proceso permitió ajustar las configuraciones técnicas a las condiciones observadas en campo, asegurando la coherencia entre las necesidades de riego, las limitaciones locales y las soluciones SPIS propuestas.



*Figura 2. Actividades de trabajo de campo en el sitio piloto de El Llano, donde un técnico solar vuela un dron y comparte la experiencia con los beneficiarios.*

Los sistemas considerados integran bombeo solar fotovoltaico, almacenamiento de agua y riego por goteo, y se orientan a superficies agrícolas de referencia de 0.35 o 0.7 ha, coherentes con los dimensionamientos previamente definidos. Estas configuraciones han sido concebidas como soluciones adaptables, que permiten ajustes menores sin comprometer la lógica general del sistema ni su potencial de réplica.

En términos geográficos, el alcance del proyecto piloto se limita a los municipios de Rabinal y San Miguel Chicaj, en el departamento de Baja Verapaz, priorizando comunidades ubicadas en el corredor seco y organizadas en CADER acompañados por el MAGA y otras instituciones. La selección de los sitios responde a criterios técnicos, sociales y operativos definidos por el proyecto y validados mediante trabajo de campo y procesos de coordinación interinstitucional.

Desde una perspectiva temporal, esta fase del proyecto se concentra en la planificación detallada del piloto, incluyendo la definición de especificaciones técnicas preliminares, la identificación de proveedores e instaladores, la estimación de costos, la preparación de documentos de contratación y la coordinación con los actores involucrados. La ejecución física del piloto — incluyendo la instalación del sistema, las pruebas de funcionamiento y la capacitación inicial de los beneficiarios— estará condicionada a la disponibilidad de financiamiento y a la toma de decisiones posteriores por parte del cliente y de los actores clave.

Quedan explícitamente fuera del alcance de esta fase la implementación a gran escala de sistemas SPIS, el financiamiento directo a múltiples beneficiarios y el establecimiento de esquemas permanentes de subsidios. No obstante, los insumos generados a través del proyecto piloto están diseñados para servir como base técnica y operativa para futuras fases de réplica y escalamiento del riego solar sostenible en la región.

## 3. Planificación Técnica y Operativa del Proyecto Piloto

Este capítulo desarrolla la planificación técnica y operativa de los proyectos piloto describiendo cómo los criterios y alcances definidos se traducen en configuraciones técnicas y arreglos operativos ajustados a las condiciones específicas de cada sitio piloto.

Se presentan el enfoque de planificación, la configuración del sistema SPIS, los actores y roles, los supuestos para la implementación y los resultados esperados, con el fin de preparar una ejecución ordenada del piloto, sujeta a la disponibilidad de financiamiento, y generar insumos técnicos y operativos que permitan validar la viabilidad de la tecnología y sustentar decisiones futuras de réplica y escalamiento

### 3.1. Enfoque de la planificación técnica

La planificación consistió en un ejercicio de selección y ajuste fino entre configuraciones previamente definidas, considerando las particularidades técnicas de cada sitio, a partir de la verificación en campo de las variables técnicas relevantes, mediante visitas realizadas con proveedores especializados en sistemas de bombeo solar. Este proceso permitió asegurar la coherencia entre las necesidades productivas, las limitaciones locales y las soluciones técnicas disponibles en el mercado de Guatemala.

El enfoque adoptado prioriza la simplicidad operativa, la robustez técnica y la adaptabilidad al contexto local, considerando las capacidades reales de los pequeños productores y de las organizaciones que los acompañan. En este sentido, la planificación técnica busca minimizar la complejidad del sistema, facilitar su operación y mantenimiento, y reducir los riesgos asociados a fallas técnicas o a una apropiación limitada de la tecnología.

Asimismo, la planificación se concibe como un insumo clave para una eventual contratación de proveedores e instaladores, al proporcionar especificaciones técnicas preliminares, criterios de calidad y requerimientos mínimos que sirvan de base para la solicitud y evaluación de cotizaciones. De esta manera, se busca asegurar que la implementación del piloto se realice conforme a estándares técnicos adecuados y en coherencia con los objetivos del proyecto.

Finalmente, este ejercicio se desarrolla bajo un enfoque de replicabilidad y escalamiento, de modo que las soluciones y lineamientos definidos puedan servir como referencia técnica y operativa para futuras intervenciones de riego solar en contextos similares del corredor seco de Guatemala y en otras regiones del país.

### 3.2. Configuración técnica del sistema SPIS piloto

La configuración técnica de los sistemas SPIS piloto se definió a partir de un proceso de ajuste entre los dimensionamientos desarrollados en el Entregable 3, las tecnologías seleccionadas en el Entregable 4 y las condiciones reales observadas en campo durante las visitas técnicas realizadas a los sitios piloto. Este proceso permitió traducir las tipologías de diseño previamente evaluadas

en configuraciones operativas concretas, viables y adaptadas al contexto productivo, hídrico y organizativo de cada comunidad, considerando además las capacidades y características del mercado de bombeo solar en Guatemala.

Las configuraciones técnicas se desarrollaron bajo condiciones de información hídrica limitada, dado que ninguno de los pozos evaluados en los sitios del proyecto cuenta con aforos formales ni registros históricos confiables de caudal y recarga. Esta condición es representativa de la mayoría de los sistemas de extracción de agua utilizados por pequeños productores en el corredor seco del Departamento de Baja Verapaz y constituye un supuesto transversal del diseño técnico adoptado, cuya validez deberá verificarse durante la implementación y operación del piloto

Las configuraciones propuestas responden a superficies agrícolas de referencia de 0.35 ha y 0.7 ha, coherentes con los patrones de pequeña producción agrícola predominantes en los CADER del corredor seco del departamento de Baja Verapaz. Ambas soluciones se conciben como sistemas modulares y escalables, que permiten ajustes menores en función de la disponibilidad hídrica, la topografía y la evolución productiva, sin comprometer la lógica general del sistema ni su potencial de replicabilidad.

Desde el punto de vista técnico, las configuraciones SPIS piloto comparten los siguientes elementos estructurales:

- Fuente de agua subterránea mediante pozo artesanal.
- Sistema de bombeo impulsado por energía solar fotovoltaica, en modalidad autónoma o híbrida según el sitio.
- Estanque de almacenamiento intermedio.
- Sistema de distribución de agua mediante riego por goteo.
- Componentes de control y protección que aseguran la operación segura del sistema y la protección de los equipos.

Los análisis económicos desarrollados en el Entregable 4 se basan en estas configuraciones técnicas propuestas, por lo que existe coherencia directa entre el diseño técnico del piloto y los resultados económicos y financieros previamente evaluados.

### **3.2.1. Guachipilín: SPIS con rebombeo para el riego de 0.35 ha.**

La configuración propuesta para el proyecto piloto en la comunidad de Guachipilín corresponde a un sistema SPIS autónomo con esquema de rebombeo, diseñado para abastecer una superficie agrícola de 0.35 ha. La solución contempla dos etapas hidráulicas claramente diferenciadas:

1. Bombeo de extracción desde el pozo artesanal hacia un estanque de almacenamiento intermedio.
2. Bombeo de impulsión desde el estanque hacia el sistema de riego parcelario.

Esta configuración responde a la topografía del sitio y a la necesidad de asegurar una presión adecuada en el sistema de riego por goteo, manteniendo al mismo tiempo una operación flexible y eficiente. La existencia de un pozo de poca profundidad, con disponibilidad suficiente de agua y recarga relativamente rápida, permite que el sistema opere de manera completamente independiente de la red eléctrica, aprovechando exclusivamente la energía solar disponible durante las horas de mayor irradiación.

El sistema se concibe como una solución robusta y de operación simple, adecuada para pequeños productores que cultivan superficies reducidas y que cuentan con capacidades técnicas limitadas para el manejo de sistemas complejos. En este sentido, se prioriza el uso de tecnologías de bombeo solar de alta confiabilidad, caracterizadas por su instalación tipo *plug and play*, lo que reduce significativamente la complejidad del montaje, la probabilidad de errores de instalación y los requerimientos de mantenimiento especializado.

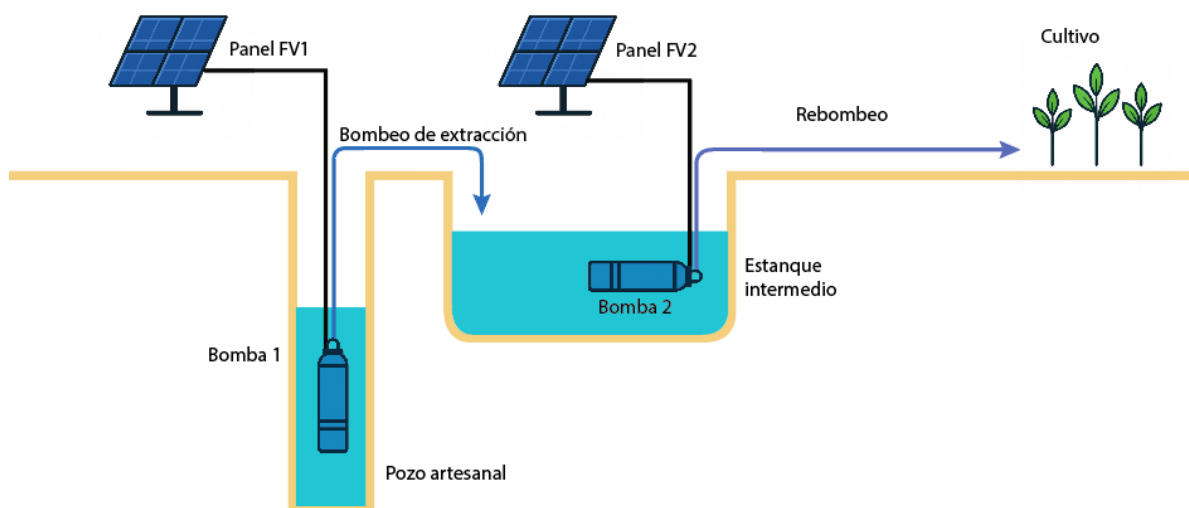


Figura 3. Configuración SPIS para el proyecto piloto en Guachipilín.

Adicionalmente, este tipo de solución facilita la gestión de mantenimiento y soporte técnico, ya que, en caso de fallas fuera del período de garantía, los equipos pueden ser enviados vía courier a los distribuidores autorizados en Guatemala para su reparación, reduciendo potencialmente los tiempos de inactividad del sistema.

Desde la perspectiva del proyecto piloto, esta configuración resulta especialmente relevante por su alto potencial demostrativo, al permitir evidenciar que es posible implementar sistemas de riego solar completamente autónomos, eficientes y adaptados a la realidad de pequeños productores organizados, sin depender de infraestructura eléctrica convencional.

### 3.2.2. El Llano: SPIS sin rebombeo para el riego de 0.7 ha

La configuración propuesta para el proyecto piloto en la comunidad de El Llano corresponde a un sistema SPIS híbrido solar-red, diseñado para abastecer una superficie agrícola de 0.7 ha bajo un esquema de bombeo de extracción sin rebombeo, aprovechando la topografía favorable del sitio.

En este caso, el estanque de almacenamiento se localiza aproximadamente 7 m por encima del área de cultivo, lo que permite la distribución del agua por gravedad hacia el sistema de riego por goteo, eliminando la necesidad de una segunda etapa de bombeo. Esta condición topográfica representa una ventaja potencial en términos de eficiencia energética y simplicidad operativa.

El sistema existente en El Llano cuenta actualmente con dos pozos artesanales de aproximadamente 30 m de profundidad, cada uno equipado con bombas subterráneas de 2 HP,

que operan con energía de la red eléctrica. La recarga de los pozos es lenta y limitada, lo que obliga a una operación intermitente del sistema: cada pozo se agota tras aproximadamente una hora de extracción continua.

El agua extraída puede dirigirse a dos estanques intermedios. Uno de estos estanques fue construido recientemente con el apoyo de la FAO y el MAGA y se encuentra ubicado a una cota superior, lo que permite la distribución del agua por gravedad hacia la parcela y el sistema de riego por goteo. El estanque original se localiza a una cota similar a la del área de cultivo, por lo que requiere bombeo adicional para su operación. Actualmente operan una bomba de 3 HP.

La propuesta consiste en implementar sistemas híbridos solar-red mediante inversores conectados a la red con cero inyección, considerando cualquiera de los dos escenarios siguientes:

- Caso 1, se energizan las dos bombas sumergibles en los pozos con dos sistemas fotovoltaicos híbridos independientes, cada uno acoplado a la red y manteniendo el esquema de operación actual.

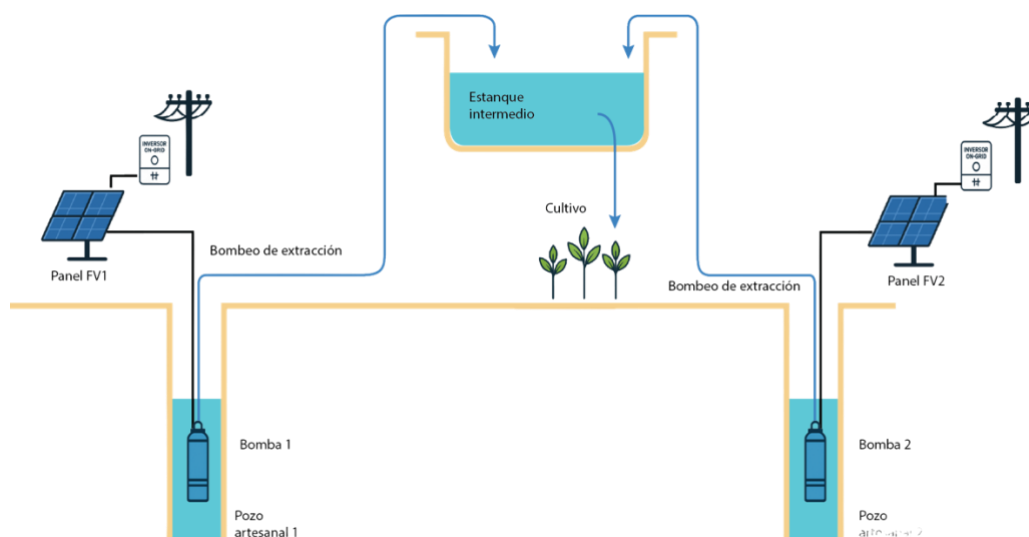


Figura 4. Caso 1. Configuración SPIS para el proyecto piloto en Del Llano.

- Caso 2, se energiza únicamente una de las bombas de los pozos con un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red, de modo que esta opere dos veces al día con energía solar durante las horas de mayor radiación y, adicionalmente, pueda funcionar por la noche utilizando energía de la red, asegurando la continuidad del suministro de agua al estanque de almacenamiento y al sistema de riego. La segunda bomba continuará operando únicamente con la red eléctrica.

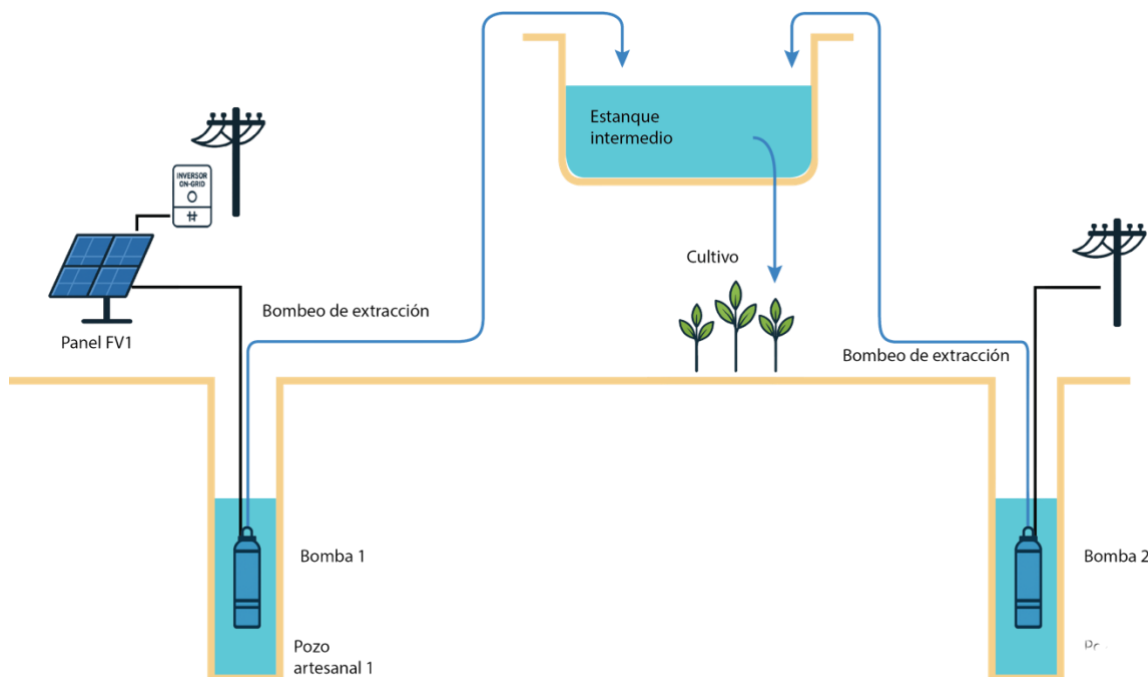


Figura 5. Caso 2. Configuración SPIS para el proyecto piloto en Del Llano.

Es importante señalar que los pozos existentes en ambos sitios piloto no han sido aforados, lo que limita la posibilidad de realizar una modelación precisa de la producción hídrica. En este contexto, el diseño del sistema SPIS adopta un enfoque operativo flexible, orientado a maximizar la captación y el almacenamiento de agua durante los períodos disponibles de bombeo, asegurando la mayor disponibilidad posible de agua para riego sin comprometer la sostenibilidad del recurso ni la operación del sistema.

#### Nota técnica – Enfoque demostrativo y aprendizaje operativo del piloto

El diseño del sistema SPIS piloto en la comunidad de El Llano incorpora de manera deliberada un enfoque demostrativo orientado al aprendizaje práctico de los productores. En particular, el proyecto reconoce que el sobredimensionamiento de bombas es una práctica frecuente entre pequeños agricultores rurales, quienes suelen asociar mayores caudales con una mayor efectividad del riego.

No obstante, desde un punto de vista técnico, un mayor caudal no implica necesariamente un aumento de la productividad agrícola, especialmente en parcelas de pequeña escala con riego por goteo, donde la eficiencia en la entrega del agua, la presión adecuada y la programación del riego resultan factores más determinantes.

En este contexto, el proyecto piloto no contempla inicialmente la solarización de la bomba asociada al estanque original, con el objetivo de mantener un punto de referencia operativo que permita a los agricultores comparar el desempeño del sistema solar propuesto con el esquema convencional basado en energía de la red. Esta experiencia está concebida para facilitar un proceso de toma de decisiones informada por parte de los productores, quienes podrán evaluar en condiciones reales los beneficios del sistema SPIS en términos de ahorro energético y mejora productiva.

A partir de esta evidencia práctica, se espera que los agricultores estén en condiciones de decidir, en una etapa posterior, la eventual solarización de dicho componente, apoyándose en los ahorros generados y en los incrementos de productividad asociados al riego por goteo actualmente adoptado con el apoyo de la FAO.

### 3.3. Actores involucrados y roles

La implementación del proyecto piloto de SPIS se concibe como un proceso colaborativo que involucra a diversos actores a nivel institucional, territorial y comunitario. La definición clara de roles y responsabilidades resulta fundamental para asegurar una ejecución ordenada del piloto, reducir riesgos operativos y fortalecer la sostenibilidad técnica y social del sistema.

Los actores involucrados en el proyecto piloto se agrupan en cuatro niveles principales: institucional, técnico-operativo, proveedores de tecnología y nivel comunitario.

#### Actores institucionales

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) desempeñan un rol estratégico en la articulación interinstitucional y el acompañamiento del proyecto piloto.

- El MARN actúa como contraparte institucional del proyecto, brindando respaldo técnico y facilitando la coordinación con otros actores relevantes, así como asegurando la alineación del piloto con las prioridades nacionales en materia de adaptación al cambio climático, gestión sostenible de los recursos naturales y resiliencia de la agricultura familiar.
- El MAGA, a través de sus extensionistas y de su trabajo continuo con los CADER, cumple un rol clave en el acompañamiento territorial del piloto. Su participación resulta esencial para fortalecer las capacidades productivas y organizativas de los beneficiarios, facilitar la coordinación en campo y asegurar la continuidad del acompañamiento técnico durante la fase de operación inicial del sistema.

Asimismo, el Climate Technology Centre and Network (CTCN), en su rol de implementador de la asistencia técnica, brinda el marco metodológico y el respaldo técnico que sustenta el desarrollo del piloto, asegurando la coherencia entre los distintos entregables del proyecto.

#### Equipo consultor

El equipo consultor es responsable de la planificación técnica y operativa del proyecto piloto, así como de la coordinación general del proceso. Sus funciones principales incluyen:

- Ajuste y validación de las configuraciones técnicas del sistema SPIS conforme a las condiciones verificadas en campo.
- Elaboración de especificaciones técnicas preliminares y criterios de calidad para la contratación de proveedores.
- Coordinación con instituciones acompañantes, proveedores e instaladores.
- Supervisión técnica de la instalación del sistema SPIS y verificación de su correcta ejecución.

- Acompañamiento durante las pruebas de funcionamiento y la puesta en marcha del sistema.
- Apoyo en la capacitación inicial de los beneficiarios y en la documentación de aprendizajes del piloto.

El equipo consultor actúa como garante de la calidad técnica del piloto y como articulador entre los distintos actores involucrados.

### **Proveedores e instaladores de tecnología**

Los proveedores e instaladores de la tecnología SPIS son responsables del suministro de los equipos, la instalación del sistema conforme a las especificaciones técnicas acordadas y la puesta en marcha del mismo. Sus responsabilidades incluyen:

- Diseño técnico detallado del sistema SPIS a partir de las especificaciones preliminares.
- Suministro de equipos y componentes certificados, con garantía y soporte local.
- Instalación del sistema conforme a las buenas prácticas del fabricante.
- Realización de pruebas de funcionamiento y ajustes iniciales.
- Entrega de documentación básica para la operación y el mantenimiento del sistema.

Para el proyecto piloto se priorizarán proveedores que operen bajo esquemas integrales de “llave en mano”, lo que permite reducir interfaces técnicas, facilitar la coordinación y asegurar la coherencia entre el diseño y la ejecución.

### **Actores comunitarios y beneficiarios**

El CADER seleccionado actúa como beneficiario directo y socio clave del proyecto piloto. Sus integrantes asumen un rol activo en la implementación, operación y resguardo del sistema SPIS, incluyendo los siguientes compromisos:

- Participar activamente en las actividades de instalación, pruebas y puesta en marcha.
- Cuidar y resguardar los equipos instalados, asegurando su uso adecuado.
- Realizar las tareas básicas de operación y mantenimiento preventivo.
- Reportar oportunamente cualquier falla o anomalía en el funcionamiento del sistema.
- Compartir la experiencia y los aprendizajes del piloto con otros CADER y actores locales, fortaleciendo su rol demostrativo.

Dado que los CADER no cuentan con personería jurídica formal, los compromisos de las partes se formalizarán mediante acuerdos de buena voluntad, tanto a nivel institucional como comunitario. Estos acuerdos permitirán establecer de manera clara las responsabilidades, expectativas y mecanismos de coordinación, constituyendo un elemento clave para la gobernanza del piloto y la reducción de riesgos durante su implementación.

### 3.4. Supuestos y condiciones para la implementación de proyectos piloto

La implementación exitosa del proyecto piloto se sustenta en una serie de supuestos y condiciones habilitantes de carácter técnico, institucional, operativo y social. La explicitación de estos supuestos tiene como objetivo reducir riesgos de implementación, gestionar expectativas y asegurar la coherencia entre el alcance del piloto, los recursos disponibles y las capacidades de los actores involucrados.

#### Supuestos técnicos

- Se asume la disponibilidad de una fuente de agua subterránea funcional en los sitios piloto, aun cuando los pozos existentes no cuenten con aforos formales ni registros históricos confiables de caudal y recarga. Esta condición, común en contextos de pequeña agricultura del corredor seco, limita la posibilidad de realizar modelaciones hidráulicas precisas, pero no invalida la implementación de soluciones SPIS bajo un enfoque operativo flexible.
- El diseño técnico del piloto se fundamenta en la maximización de la captación y el almacenamiento de agua durante los períodos disponibles de bombeo, priorizando la flexibilidad operativa del sistema y el uso eficiente de la energía, sin comprometer la sostenibilidad del recurso hídrico.
- Se asume que las condiciones topográficas, la infraestructura existente y los sistemas de riego por goteo instalados en los sitios seleccionados permiten la integración del sistema SPIS sin requerir obras civiles mayores, más allá de ajustes puntuales asociados a la instalación del arreglo fotovoltaico y los equipos de bombeo.

#### Supuestos institucionales y de gobernanza

- La implementación del piloto asume la continuidad del acompañamiento institucional por parte del MAGA, a través de sus extensionistas, así como la coordinación con el MARN, como condición clave para fortalecer las capacidades locales y asegurar la alineación del piloto con las políticas públicas en materia de agricultura sostenible, seguridad alimentaria y adaptación al cambio climático.
- Se asume la disposición de las instituciones acompañantes para facilitar la coordinación interinstitucional, el acceso a los sitios piloto y la participación en actividades de supervisión, capacitación y seguimiento durante la fase inicial de operación del sistema.
- Dado que los CADER no cuentan con personería jurídica formal, se asume la formalización de compromisos mediante acuerdos de buena voluntad, que permitan establecer de manera clara las responsabilidades de las partes y fortalecer la gobernanza del piloto.

#### Supuestos operativos y financieros

- La ejecución física del proyecto piloto está condicionada a la disponibilidad de financiamiento para la adquisición, instalación y puesta en marcha de los sistemas SPIS. El presente informe no compromete recursos financieros, sino que proporciona los

insumos técnicos y operativos necesarios para una implementación eficiente en caso de aprobación de dichos recursos.

- Se asume la disponibilidad de proveedores e instaladores con experiencia comprobada en sistemas de bombeo solar en Guatemala, capaces de operar bajo esquemas integrales de “llave en mano”, incluyendo suministro, instalación, pruebas y soporte técnico inicial.
- Se reconoce que factores externos como condiciones climáticas, retrasos logísticos, tiempos de importación de equipos o cambios en la disponibilidad de los actores clave pueden afectar el cronograma de implementación, por lo que se recomienda mantener flexibilidad operativa durante la ejecución del piloto.

### Supuestos sociales y de apropiación tecnológica

- Se asume un alto nivel de compromiso por parte de los CADER seleccionados, incluyendo la disposición para participar activamente en la instalación, pruebas, puesta en marcha y operación inicial del sistema SPIS, así como para resguardar los equipos y realizar tareas básicas de mantenimiento preventivo.
- El piloto parte del supuesto de que la apropiación tecnológica es un proceso progresivo, por lo que la adopción plena de las soluciones SPIS se fortalecerá a través del aprendizaje práctico, la capacitación inicial y la experiencia demostrativa generada durante la operación del sistema.
- Se asume la disposición de los beneficiarios para compartir aprendizajes y experiencias con otros CADER, actores municipales y organizaciones locales, reforzando el carácter demostrativo del piloto y su potencial de réplica.

En conjunto, estos supuestos delimitan el alcance realista del proyecto piloto y permiten identificar los principales factores críticos que condicionan su éxito. Si bien el piloto se diseña para minimizar riesgos técnicos y operativos, su implementación efectiva dependerá de la verificación continua de estos supuestos y de la capacidad de los actores involucrados para adaptarse a las condiciones cambiantes del contexto territorial y climático.

## 3.5. Especificaciones técnicas preliminares

Las especificaciones técnicas preliminares del proyecto piloto SPIS tienen como objetivo servir como marco de referencia para la solicitud y evaluación de cotizaciones (RFQ), así como para la eventual contratación de proveedores e instaladores de la tecnología. Estas especificaciones establecen requerimientos mínimos de desempeño, calidad y compatibilidad, sin constituir un diseño ejecutivo cerrado, el cual deberá ser desarrollado por el proveedor seleccionado a partir de las condiciones verificadas en campo.

Las especificaciones se formulan bajo un enfoque basado en desempeño y funcionalidad, priorizando la robustez técnica, la eficiencia energética, la facilidad de operación y mantenimiento, y la adecuación al contexto de pequeña producción agrícola del corredor seco de Baja Verapaz.

## Alcance de las especificaciones

Las presentes especificaciones aplican a los siguientes componentes y servicios asociados al sistema SPIS piloto:

- Sistema de bombeo solar (bomba, motor y controlador).
- Sistema fotovoltaico (módulos, estructuras y protecciones).
- Sistemas híbridos solar-red, cuando aplique.
- Integración con sistemas de almacenamiento de agua y riego existentes.
- Servicios de instalación, pruebas, puesta en marcha y capacitación inicial.
- Garantías y soporte técnico post-instalación.

## Requerimientos técnicos generales

Los sistemas SPIS propuestos deberán cumplir, como mínimo, con los siguientes requerimientos generales:

- Operar de manera confiable bajo las condiciones climáticas y ambientales del corredor seco, incluyendo altas temperaturas y elevada radiación solar.
- Ser compatibles con esquemas de operación autónomos o híbridos solar-red, de acuerdo con la configuración definida para cada sitio piloto.
- Contar con sistemas de control y protección que aseguren una operación segura frente a condiciones de baja radiación, operación en seco, sobrecargas y variaciones de voltaje.
- Permitir una operación sencilla y segura por parte de usuarios con formación técnica básica.
- Contar con disponibilidad de repuestos y soporte técnico en Guatemala.

## Especificaciones del sistema de bombeo

- Bombas sumergibles o de superficie, según corresponda a la configuración del sitio, diseñadas específicamente para operación con energía solar.
- Selección de la potencia y características hidráulicas del sistema en función de la carga dinámica total (CDT) y los caudales requeridos para cada sitio, evitando sobredimensionamientos innecesarios y priorizando la eficiencia energética.
- Capacidad de operación estable bajo condiciones de caudal variable y recarga limitada del pozo.
- Controladores electrónicos con seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) y lógica de protección integrada.

- Compatibilidad con sensores de nivel en pozo y estanque, cuando aplique.

### **Especificaciones del sistema fotovoltaico**

- Módulos fotovoltaicos certificados conforme a normas técnicas internacionales aplicables, adecuados para instalación en entornos rurales.
- Estructuras de soporte fijas, diseñadas para operación en exteriores y condiciones ambientales locales.
- Configuración del arreglo fotovoltaico acorde con los requerimientos del sistema de bombeo y el esquema de operación definido.
- En configuraciones híbridas, inversores compatibles con conexión a red con cero inyección.

### **Sistemas de control, protección y operación**

- Integración de protecciones eléctricas básicas que aseguren la integridad de los equipos y la seguridad de los usuarios.
- Sistemas de control que prioricen el uso de energía solar frente a la red eléctrica en configuraciones híbridas.
- Monitoreo básico del funcionamiento del sistema, orientado a la supervisión del desempeño general y a la detección temprana de fallas.
- Interfaces de usuario simples y comprensibles para operadores locales.

### **Integración con infraestructura existente**

- El sistema SPIS deberá integrarse con la infraestructura hídrica y de riego existente en cada sitio piloto, sin requerir modificaciones estructurales mayores y respetando las condiciones topográficas y de operación actuales.

### **Enfoque de diseño y documentación técnica**

Las propuestas técnicas podrán basarse en plataformas de dimensionamiento y selección de equipos propias de cada fabricante, siempre que se identifiquen de manera clara los supuestos de diseño, incluyendo la CDT, el caudal de diseño y el esquema de operación del sistema.

Como parte de la propuesta técnica, el proveedor deberá incluir las curvas de desempeño de las bombas seleccionadas, indicando de manera explícita el punto o rango de operación esperado bajo las condiciones del sitio. Esta información permitirá verificar la coherencia de la solución propuesta con la CDT, los caudales requeridos y los objetivos del proyecto piloto.

Como elemento de valor agregado, las propuestas podrán incluir una descripción técnica de los sistemas de control y automatización, tales como sensores o medidores de nivel en pozo y estanques, lógicas de arranque y paro, protecciones operativas y mecanismos de monitoreo, así como de su integración con los componentes principales del sistema SPIS. La inclusión de esta información será considerada positivamente durante la evaluación técnica, sin constituir un requisito obligatorio para la admisibilidad de la oferta.

#### **Requerimientos de instalación, pruebas y entrega**

- Instalación del sistema conforme a las buenas prácticas del fabricante y a los estándares técnicos aplicables.
- Realización de pruebas de funcionamiento y ajustes iniciales, en coordinación con el equipo consultor y los beneficiarios.
- Puesta en marcha del sistema y entrega formal a los usuarios finales.
- Capacitación inicial sobre operación básica y mantenimiento preventivo.

#### **Garantías y soporte técnico**

- Garantía mínima del sistema completo y de sus principales componentes, conforme a las prácticas habituales del mercado.
- Disponibilidad de soporte técnico local durante el período de garantía.
- Entrega de documentación básica de operación y mantenimiento.

### **3.6. Identificación y validación de proveedores e instaladores**

La identificación y validación de proveedores e instaladores para el proyecto piloto se llevó a cabo como parte del proceso de planificación técnica del proyecto, previo a la definición final de las configuraciones propuestas. Este proceso incluyó un análisis del mercado local de tecnologías de bombeo solar, la revisión de soluciones disponibles en Guatemala y la interacción directa con proveedores especializados.

Como resultado de este análisis, se cuenta actualmente con cotizaciones técnicas y económicas y con la preselección de proveedores que cumplen con los requerimientos técnicos, operativos y de soporte definidos para el proyecto piloto.

#### **Proceso de identificación y análisis de mercado**

El proceso de identificación de proveedores incluyó, entre otros aspectos:

- Revisión de tecnologías de bombeo solar disponibles en el mercado guatemalteco, tanto para sistemas autónomos como híbridos solar-red.
- Análisis comparativo de soluciones técnicas en función de su adecuación a las condiciones hidráulicas, energéticas y operativas de los sitios piloto.
- Evaluación de la experiencia de los proveedores en proyectos similares y de su capacidad de soporte técnico local.
- Visitas técnicas a los sitios piloto en coordinación con los proveedores, con el fin de validar en campo las condiciones de instalación y ajustar las configuraciones propuestas.

Este proceso permitió descartar soluciones sobredimensionadas o poco adecuadas al contexto del proyecto, priorizando tecnologías robustas, eficientes y compatibles con las capacidades locales de operación y mantenimiento.

### Proveedores preseleccionados y coherencia con el diseño del piloto

Los proveedores preseleccionados cumplen con las características establecidas en las especificaciones técnicas preliminares (Sección 3.5) y han demostrado capacidad para:

- Proponer soluciones técnicas coherentes con la carga dinámica total, los caudales de diseño y los esquemas de operación definidos para cada sitio piloto.
- Utilizar plataformas de dimensionamiento propias de los fabricantes para la selección adecuada de equipos.
- Ofrecer equipos con trayectoria comprobada y disponibilidad de soporte técnico en Guatemala.
- Adaptar las soluciones propuestas a la infraestructura existente y a las condiciones topográficas de los sitios piloto.

Las configuraciones técnicas presentadas en la Sección 3.2 reflejan precisamente el resultado de este proceso de interacción técnica y validación en campo con los proveedores, lo que reduce significativamente los riesgos de implementación.

### Consideraciones para la fase de implementación

Dado que el análisis de mercado y la validación técnica de proveedores ya han sido realizados, el proyecto piloto se encuentra en una **fase avanzada de preparación para su implementación**, condicionada únicamente a la disponibilidad de financiamiento y a la formalización de los acuerdos contractuales correspondientes.

En caso de ser requerido por el cliente o las instituciones involucradas, el proceso podrá formalizarse mediante un RFQ abreviado o la confirmación de las cotizaciones existentes.

### 3.7. Planificación de la implementación y cronograma

La implementación del proyecto piloto SPIS se concibe como una fase operativa de corta duración, orientada a la ejecución directa en campo de configuraciones técnicas previamente definidas, validadas y consensuadas con los proveedores y los pequeños productores. Dado que los proveedores seleccionados ya cuentan con la información técnica completa de los sitios piloto, han realizado visitas de campo y disponen de cotizaciones y diseños ajustados a las condiciones reales, esta fase se enfoca exclusivamente en la instalación, pruebas y puesta en marcha de los sistemas, sin requerir procesos adicionales de diseño o validación técnica.

La implementación del piloto se desarrollará bajo un enfoque participativo y escalonado, que permita asegurar la calidad técnica de la instalación, fortalecer la apropiación por parte de los pequeños productores y reducir riesgos operativos durante las primeras etapas de funcionamiento. Este enfoque prioriza:

- La coordinación estrecha entre proveedores, equipo consultor, instituciones acompañantes y los pequeños productores organizados en los CADER, quienes participan activamente en las etapas clave del proceso.
- La ejecución eficiente de las actividades, evitando reprocesos técnicos gracias al trabajo previo de validación en campo.
- La puesta en marcha progresiva de los sistemas, con acompañamiento técnico inicial.
- La generación y documentación de aprendizajes técnicos y operativos relevantes para futuras fases de réplica y escalamiento.

#### 3.7.1. Etapas de implementación del piloto

Las etapas de implementación descritas a continuación se desarrollarán de manera secuencial y, cuando sea pertinente, parcialmente superpuesta, con el fin de optimizar tiempos y asegurar una ejecución eficiente:

1. **Formalización contractual y coordinación operativa:** Confirmación de cotizaciones y formalización de contratos con los proveedores seleccionados, así como la suscripción de acuerdos de coordinación con las instituciones acompañantes y los CADER beneficiarios. En esta etapa se definen responsabilidades, cronograma de actividades y mecanismos de comunicación entre actores.
2. **Preparación logística y verificación final en sitio:** Coordinación del suministro de equipos y verificación final de las condiciones en los sitios piloto, incluyendo accesos, ubicación definitiva de componentes, infraestructura existente y condiciones de seguridad. Los pequeños productores participan activamente en la preparación del sitio y en la validación práctica de la disposición de los equipos.
3. **Instalación del sistema SPIS:** Montaje del arreglo fotovoltaico, instalación de bombas, controladores y sistemas de protección, e integración con los sistemas de almacenamiento y riego existentes, conforme a las configuraciones técnicas definidas. Durante esta etapa, los productores acompañan el proceso de instalación, fortaleciendo su comprensión del sistema y su funcionamiento.

4. **Pruebas de funcionamiento y ajustes iniciales:** Verificación del correcto funcionamiento del sistema bajo condiciones reales de operación, realización de ajustes finos y validación del desempeño esperado. Esta fase se desarrolla con la participación del equipo consultor, los proveedores y los pequeños productores, asegurando que los usuarios finales comprendan el comportamiento del sistema.
5. **Puesta en marcha y capacitación inicial:** Entrega formal del sistema a los CADER beneficiarios, acompañada de una capacitación práctica orientada a la operación básica, el mantenimiento preventivo y el uso adecuado del sistema de riego. La capacitación se realiza en campo y se adapta al nivel técnico de los productores.
6. **Acompañamiento inicial post-instalación:** Seguimiento durante las primeras semanas de operación para resolver incidencias tempranas, reforzar buenas prácticas de operación y consolidar la apropiación tecnológica por parte de los pequeños productores.

### 3.7.2. Cronograma preliminar de instalación y puesta en marcha

Considerando que los proveedores seleccionados ya disponen de la información técnica necesaria, han realizado visitas a los sitios piloto y cuentan con cotizaciones y configuraciones definidas, el período estimado de instalación y puesta en marcha de los sistemas SPIS se establece en un máximo de 7 semanas, contadas a partir de la formalización contractual y la disponibilidad de financiamiento.

- Formalización contractual y coordinación operativa: 2 semanas
- Suministro de equipos e instalación en campo: 3 semanas
- Pruebas de funcionamiento, puesta en marcha y capacitación inicial: 2 semanas

Este cronograma corresponde exclusivamente a las actividades de instalación, pruebas y puesta en marcha, y no incluye las fases previas de planificación técnica ni las actividades posteriores de seguimiento y monitoreo del desempeño del sistema.

### 3.7.3. Articulación con el Monitoreo y Evaluación del proyecto

Como parte integral de la implementación del proyecto piloto, se contempla una fase posterior de monitoreo y evaluación del desempeño del sistema, orientada a documentar su funcionamiento real, los aprendizajes operativos y sus efectos productivos, sociales y ambientales. Esta fase se desarrollará una vez completada la instalación y puesta en marcha, y se aborda de manera detallada en el capítulo específico de Monitoreo y Evaluación del proyecto.

## 4. Monitoreo y Evaluación del Proyecto Piloto SPIS

La implementación del proyecto piloto de SPIS deberá incorporar un componente estructurado de Monitoreo y Evaluación (M&E), orientado a evaluar el desempeño real de los sistemas implementados, documentar aprendizajes técnicos, productivos y sociales, y generar evidencia robusta que sustente decisiones informadas sobre la réplica, el escalamiento y la provisión de asistencia técnica posterior a la fase piloto.

En este marco, el proceso de M&E persigue los siguientes objetivos específicos:

- Verificar el desempeño técnico y operativo de los sistemas SPIS bajo condiciones reales de uso por parte de los pequeños productores.
- Evaluar la contribución del riego solar a la producción agrícola y a la seguridad alimentaria de los hogares participantes.
- Analizar los cambios en el uso del agua y la energía desde una perspectiva integrada.
- Documentar procesos de apropiación tecnológica, organización y fortalecimiento de capacidades locales.
- Generar insumos técnicos y operativos que permitan informar el diseño y la priorización de intervenciones futuras, orientadas a la sostenibilidad y al escalamiento del modelo SPIS.

### 4.1. Enfoque metodológico

El enfoque de Monitoreo y Evaluación (M&E) se fundamenta en el marco conceptual del Nexo Agua-Energía-Alimentos, incorporando de manera transversal consideraciones de seguridad alimentaria, género y adaptación al cambio climático. Este enfoque reconoce la interdependencia entre el acceso al agua para riego, la disponibilidad y el costo de la energía, y la producción de alimentos, particularmente en contextos de pequeña agricultura vulnerable a la variabilidad climática.

El M&E se concibe como un proceso aplicado, participativo y orientado al aprendizaje, cuyo propósito central no es la medición de impactos de largo plazo, sino la generación de evidencia técnica, operativa y social útil para la toma de decisiones. En el marco del proyecto piloto, el M&E permite evaluar el desempeño real de los sistemas SPIS en condiciones de operación cotidiana, identificar buenas prácticas y limitaciones, y generar aprendizajes directamente aplicables al diseño de fases posteriores de asistencia técnica, réplica y escalamiento del modelo. En este contexto, el proceso de M&E tiene un carácter técnico y analítico, orientado a la observación y documentación del desempeño de los sistemas, y no constituye una instancia de capacitación formal, sino una fuente de insumos para los procesos de acompañamiento y fortalecimiento de capacidades descritos en el Capítulo 5.

Metodológicamente, el enfoque combina herramientas cuantitativas y cualitativas, adaptadas al contexto rural y a la disponibilidad real de información en campo. Se priorizan indicadores relevantes y factibles de medir, evitando esquemas de seguimiento excesivamente complejos o dependientes de instrumentación avanzada.

El enfoque metodológico contempla la participación activa de los pequeños productores organizados en los CADER y, de manera complementaria, el apoyo de referentes locales de monitoreo y evaluación para el levantamiento de información en campo.

## 4.2. Alcance temporal del M&E

El proceso de Monitoreo y Evaluación deberá desarrollarse posteriormente a la instalación y puesta en marcha de los sistemas SPIS y abarcará un período estimado de 6 a 12 meses, permitiendo observar el desempeño del sistema durante al menos dos ciclos productivos completos y generar evidencia técnica y operativa relevante.

Este horizonte temporal permitirá:

- Evaluar la confiabilidad y continuidad del sistema bajo distintas condiciones climáticas.
- Analizar la contribución del riego solar a lo largo de un ciclo agrícola completo.
- Observar la evolución de las prácticas de riego y manejo del sistema por parte de los productores.
- Identificar oportunidades de mejora técnica y operativa relevantes para la mejora progresiva del modelo y su posible replicabilidad.

La duración exacta del período de M&E podrá ajustarse en función de los objetivos específicos del proyecto y de los requerimientos de información necesarios para la definición de futuras intervenciones de asistencia técnica, así como de la disponibilidad de recursos para el seguimiento.

## 4.3. Marco preliminar de indicadores

De manera indicativa, el M&E se deberá estructurar a partir de los siguientes ejes y grupos de indicadores, alineados con el enfoque Nexa Agua-Energía-Alimentos y con los objetivos del proyecto piloto SPIS. Estos indicadores podrán ajustarse y priorizarse durante la ejecución del proceso de Monitoreo y Evaluación, en función de la factibilidad de recolección de información y de su relevancia para la generación de evidencia útil para la toma de decisiones.

### 4.3.1. Agua

- Disponibilidad y continuidad del suministro de agua para riego.
- Horas efectivas de operación del sistema de bombeo.
- Volumen de agua extraída y utilizada para riego (estimado).
- Uso eficiente del agua en sistemas de riego por goteo.
- Capacidad del sistema para responder a períodos de escasez hídrica.

### 4.3.2. Energía

- Energía generada por el sistema fotovoltaico (estimada).

- Reducción del consumo de energía eléctrica de la red.
- Ahorros económicos asociados al uso de energía solar.
- Confiabilidad del suministro energético para el riego.

#### **4.3.3. Producción agrícola y seguridad alimentaria**

- Superficie efectivamente irrigada mediante el sistema SPIS.
- Cambios en rendimientos agrícolas por cultivo.
- Diversificación de cultivos y ciclos productivos.
- Disponibilidad de alimentos para autoconsumo.
- Percepción de mejora en la seguridad alimentaria del hogar.

#### **4.3.4. Dimensión económica**

- Variación en los costos de producción asociados al riego.
- Cambios en los ingresos agrícolas.
- Capacidad de reinversión en insumos productivos.
- Estabilidad de la producción a lo largo del ciclo agrícola.
- Destino de excedentes agrícolas y venta ocasional en mercados locales.

#### **4.3.5. Género y fortalecimiento social**

- Participación de mujeres en la operación y gestión del sistema SPIS.
- Acceso equitativo a los beneficios productivos del riego.
- Cambios en la carga de trabajo asociada al riego.
- Fortalecimiento organizativo de los CADER.

#### **4.3.6. Cambio climático y resiliencia**

- Capacidad del sistema para mantener la producción frente a variabilidad climática.
- Percepción de resiliencia productiva por parte de los pequeños productores.

### **4.4. Fuentes de información y métodos de recolección**

La información para el proceso de Monitoreo y Evaluación deberá recopilarse a través de una combinación de fuentes primarias y secundarias, utilizando métodos adaptados al contexto rural y a la disponibilidad real de información en campo. Las principales fuentes y métodos de recolección incluyen:

- Registros operativos básicos del sistema SPIS.

- Visitas periódicas de seguimiento en campo.
- Entrevistas semiestructuradas con los pequeños productores beneficiarios.
- Información productiva y organizativa recopilada a nivel territorial.
- Levantamiento periódico de indicadores básicos mediante apoyo local en campo.

El diseño del sistema de M&E prioriza herramientas simples, prácticas y de bajo costo, compatibles con las capacidades locales, evitando cargas excesivas de recolección de datos y favoreciendo la sostenibilidad del proceso en el tiempo.

## 4.5. Roles y responsabilidades en el M&E

El proceso de Monitoreo y Evaluación del proyecto piloto SPIS deberá implementarse bajo un esquema de roles y responsabilidades claramente definidos, que asegure la calidad técnica de la información, la participación activa de los actores locales y la sostenibilidad del proceso en el tiempo.

En este marco, se establecen las siguientes responsabilidades:

- **Pequeños productores / CADER:** Participar activamente en el proceso de M&E mediante el registro básico de la operación del sistema SPIS, la provisión de información productiva y la participación en entrevistas y actividades de seguimiento. Su involucramiento es clave para reflejar las condiciones reales de operación y fortalecer la apropiación del sistema.
- **MAGA:** Brindar acompañamiento técnico a nivel territorial, apoyar la recolección de información productiva y social, y facilitar la coordinación entre los pequeños productores, el equipo consultor y otros actores institucionales relevantes.
- **Equipo consultor:** Diseñar y coordinar el marco metodológico del M&E, definir indicadores, herramientas y protocolos de recolección de información, brindar acompañamiento técnico y supervisión al proceso, consolidar y analizar la información recolectada, y elaborar los informes de seguimiento. Asimismo, el equipo consultor será responsable de asegurar la consistencia, calidad y trazabilidad de la información, así como de orientar el uso de los resultados para la toma de decisiones estratégicas y la definición de fases posteriores de asistencia técnica.
- **MARN y CTCN:** Utilizar los resultados del M&E para retroalimentar políticas públicas, estrategias de adaptación al cambio climático y procesos de réplica y escalamiento del modelo SPIS, en coordinación con las instituciones sectoriales correspondientes.
- **Referentes locales de Monitoreo y Evaluación:** De manera complementaria, el proyecto podrá incorporar referentes locales, tales como estudiantes universitarios en modalidad de tesis o práctica supervisada, quienes apoyarán el levantamiento de información en campo, el registro periódico de indicadores básicos y la sistematización preliminar de datos para el proceso de M&E. Estos referentes locales contarán con el acompañamiento técnico y metodológico del equipo consultor, y los productos académicos desarrollados en este marco podrán ser revisados técnicamente por la coordinación del proyecto, en coordinación con las instituciones académicas correspondientes.

## 4.6. Uso de los resultados del Monitoreo y Evaluación

Los resultados del proceso de Monitoreo y Evaluación deberán utilizarse como insumo central para orientar decisiones técnicas, operativas e institucionales relacionadas con el proyecto piloto SPIS y con su posible continuidad.

En particular, los resultados del M&E permitirán:

- Validar el desempeño técnico y operativo de los sistemas SPIS implementados bajo condiciones reales de uso por parte de pequeños productores.
- Identificar oportunidades de mejora y ajustes técnicos u operativos que puedan incorporarse durante la operación del piloto.
- Definir de manera informada los requerimientos técnicos, operativos y de fortalecimiento de capacidades de una fase posterior de asistencia técnica, orientada a la réplica, el escalamiento y la sostenibilidad del modelo.
- Generar evidencia para la formulación y ajuste de programas, lineamientos técnicos y políticas públicas relacionadas con riego sostenible, energía renovable y seguridad alimentaria.
- Aportar evidencia empírica para validar los supuestos técnicos, productivos y socioeconómicos que sustentan la hoja de ruta para la adopción de tecnologías SPIS, contribuyendo a su fortalecimiento y a la toma de decisiones informadas para su implementación a mayor escala.
- Documentar la generación y comercialización local de excedentes agrícolas, en coherencia con los resultados esperados del proyecto piloto descritos en el Capítulo 6.

En este sentido, el proceso de Monitoreo y Evaluación no se concibe únicamente como un mecanismo de seguimiento del proyecto piloto, sino como una herramienta estratégica orientada a respaldar, con evidencia de campo, la adopción progresiva de sistemas SPIS en el marco de la hoja de ruta definida.

## 5. Capacitación inicial, transferencia de competencias y diseminación del conocimiento

La capacitación inicial del proyecto piloto de SPIS se orienta a fortalecer las capacidades técnicas y operativas básicas de los pequeños productores para la correcta operación, el mantenimiento preventivo y el uso eficiente de los sistemas implementados, promoviendo su apropiación tecnológica y contribuyendo a la sostenibilidad del piloto en el tiempo.

Asimismo, la capacitación se concibe como un componente de transferencia de competencias, orientada no solo al funcionamiento adecuado de los sistemas durante la fase inicial de implementación, sino también a sentar las bases para procesos de aprendizaje progresivo, en coherencia con la hoja de ruta para la adopción y escalamiento de sistemas SPIS.

### 5.1. Enfoque metodológico de la capacitación

El enfoque metodológico de la capacitación se basará en principios de aprendizaje práctico, participativo y contextualizado, adaptados a las condiciones productivas, organizativas y socioculturales de los pequeños productores beneficiarios.

La capacitación se desarrollará como un proceso progresivo, iniciando con actividades orientadas a la apropiación técnica básica del sistema SPIS y avanzando, conforme se acumula experiencia de operación, hacia contenidos de sensibilización y fortalecimiento de capacidades para la sostenibilidad del sistema.

La capacitación se implementará principalmente mediante actividades en campo, durante la instalación, puesta en marcha y operación temprana de los sistemas SPIS, y podrá complementarse posteriormente a través de visitas de seguimiento articuladas con el proceso de Monitoreo y Evaluación.

En todas las etapas del proceso, el enfoque metodológico priorizará:

- La demostración práctica del funcionamiento del sistema.
- El aprendizaje mediante la experiencia directa y la resolución de situaciones reales de operación.
- El uso de materiales didácticos simples, visuales y de fácil comprensión.
- La participación activa de los productores en las actividades básicas de operación y mantenimiento.

### 5.2. Capacitación inicial para la operación del sistema SPIS

La capacitación inicial para la operación del sistema SPIS se estructurará en torno a contenidos esenciales, orientados a asegurar que los pequeños productores cuenten con los conocimientos mínimos necesarios para operar el sistema de forma segura, eficiente y sostenible durante su

etapa inicial de funcionamiento. Esta capacitación tiene como objetivo principal asegurar una apropiación técnica básica de la tecnología y una operación adecuada del sistema desde sus primeras etapas de uso.

De manera indicativa, la capacitación inicial abarcará los siguientes contenidos:

- Principios generales del funcionamiento de los sistemas SPIS y sus componentes principales.
- Operación cotidiana del sistema de bombeo y del arreglo fotovoltaico.
- Uso eficiente del sistema de riego por goteo, incluyendo la programación básica del riego.
- Mantenimiento preventivo básico y buenas prácticas de cuidado de los equipos.
- Identificación de fallas comunes y acciones iniciales de respuesta.
- Prácticas de seguridad asociadas a la operación del sistema.
- Sensibilización básica sobre el uso eficiente del agua y la energía en el contexto del riego solar.

De manera transversal, esta capacitación incorporará referencias prácticas a seguridad alimentaria y enfoque de género, directamente relacionadas con el uso del riego y la organización del trabajo en la parcela, sin constituir procesos de capacitación agrícola general

### 5.3. Sensibilización, resiliencia y planificación productiva

Una vez que los productores cuenten con experiencia práctica en la operación del sistema SPIS, el proyecto contempla un proceso de sensibilización y fortalecimiento progresivo de capacidades, orientado a mejorar la sostenibilidad, resiliencia y beneficios del sistema productivo.

Este proceso no constituye una capacitación formal independiente, sino un acompañamiento gradual, que podrá desarrollarse durante las visitas de seguimiento del sistema y articularse con las actividades de Monitoreo y Evaluación, o bien en el marco de fases posteriores de asistencia técnica.

De manera indicativa, este proceso podrá abordar:

- Sensibilización sobre la gestión básica de los ingresos asociados al riego, orientada a la planificación del uso de los recursos generados, la previsión de costos de operación y reposición del sistema, y la mejora progresiva de la economía familiar, con énfasis en la seguridad alimentaria y la nutrición del hogar.
- Preparación para la resiliencia climática, incluyendo la identificación de riesgos climáticos locales, el ajuste del riego en períodos críticos, la priorización del uso del agua y la importancia de la planificación económica básica (ahorro).
- Sensibilización sobre la importancia de prever mejoras progresivas en las condiciones de la fuente de agua, en particular en pozos artesanales, como parte de una planificación productiva y económica orientada a maximizar los beneficios del sistema SPIS.
- Fortalecimiento de una cultura de planificación productiva y económica, promoviendo que los productores, a partir de las mejoras en producción e ingresos, consideren de manera

progresiva la previsión de recursos para la adquisición de insumos clave, como complemento a los apoyos institucionales existentes.

Este proceso incorpora de manera transversal un enfoque de género y de seguridad alimentaria, reconociendo el rol de mujeres y hombres en la toma de decisiones productivas y en la gestión de los beneficios del riego.

## **5.4. Articulación entre capacitación y Monitoreo y Evaluación**

El proceso de capacitación se articulará con el Monitoreo y Evaluación del proyecto, de manera que las visitas de seguimiento del sistema SPIS constituyan espacios clave tanto para la recolección de información como para el aprendizaje práctico y la sensibilización de los productores.

Esta articulación permitirá que los aprendizajes se construyan a partir de la experiencia real de operación del sistema, sin sustituir los objetivos del M&E ni generar cargas adicionales para los productores.

## **5.5. Rol demostrativo de los CADER piloto**

Los CADER beneficiados por el proyecto piloto SPIS podrán participar activamente en actividades de demostración y socialización de la experiencia, orientadas a otros CADER del municipio y a actores locales interesados en la adopción de tecnologías de riego solar.

Estas actividades contribuirán a fortalecer los procesos de extensión rural y a validar el modelo SPIS a nivel territorial, en coordinación con el MAGA y las autoridades municipales.



Figura 6. Sesión de trabajo con integrantes del CADER El Llano para definir el nivel de compromiso y participación en la implementación del proyecto piloto SPIS.

## 5.6. Transferencia de competencias a nivel institucional

Durante la implementación del proyecto piloto SPIS, ingenieros y personal técnico del MAGA y de las instituciones municipales podrán estar expuestos de manera directa a las distintas etapas del proceso, incluyendo el diseño, la instalación, la puesta en marcha, la operación inicial y el Monitoreo y Evaluación de los sistemas.

Esta exposición práctica contribuye a fortalecer las capacidades institucionales para la promoción, acompañamiento y eventual réplica de sistemas SPIS en coherencia con la hoja de ruta para su adopción y escalamiento.

## 5.7. Diseminación del conocimiento y articulación con actores locales

En el marco del proyecto piloto SPIS, se promoverá la diseminación del conocimiento generado hacia asociaciones civiles y otros actores locales que, de acuerdo con el diagnóstico desarrollado en el Entregable 2, han manifestado interés en tecnologías de riego y en soluciones basadas en energía solar.

Estas acciones se orientarán a actividades de intercambio de experiencias y observación del funcionamiento de los sistemas SPIS, contribuyendo a ampliar el alcance del proyecto piloto y a fortalecer la validación territorial de la tecnología.

## **5.8. Contribución de la capacitación a la adopción de la hoja de ruta SPIS**

El enfoque progresivo de capacitación, sensibilización y fortalecimiento de capacidades contribuye de manera directa a la adopción sostenible del SPIS, al asegurar una apropiación técnica inicial adecuada y, posteriormente, fortalecer la capacidad de los productores y actores locales para tomar decisiones informadas que mejoren la resiliencia, sostenibilidad y beneficios del sistema.

De esta manera, la capacitación complementa la generación de evidencia técnica y operativa del proyecto piloto y sienta las bases para la implementación efectiva de la hoja de ruta y para futuras fases de escalamiento.

## 6. Resultados Esperados del Proyecto Piloto

El proyecto piloto de SPIS se concibe como una intervención demostrativa y habilitante, orientada a generar una combinación de resultados técnicos, productivos, sociales e institucionales que permitan evaluar de manera integral el desempeño de la tecnología y su potencial de replicabilidad en el contexto de la pequeña agricultura del corredor seco del departamento de Baja Verapaz.

Los resultados esperados se presentan de manera cualitativa y estratégica, en reconocimiento de que el proyecto piloto no está orientado a la medición de impactos de largo plazo, sino a la generación de evidencia técnica y operativa, aprendizajes aplicados y capacidades locales que sirvan de base para la toma de decisiones sobre la réplica, el escalamiento y el diseño de fases posteriores de asistencia técnica, en alineación con la hoja de ruta para la adopción de sistemas SPIS a nivel nacional por pequeños productores.

### 6.1. Resultados técnicos y operativos

- Se espera que los pilotos SPIS implementados permitan demostrar la viabilidad técnica y operativa de sistemas de riego solar diseñados para superficies agrícolas de pequeña escala, bajo condiciones reales de operación.
- Los sistemas instalados deberán operar de manera funcional, estable y confiable, permitiendo validar configuraciones de bombeo solar autónomas e híbridas, así como rangos adecuados de potencia, caudal y esquemas de operación, evitando sobredimensionamientos innecesarios. Asimismo, se espera generar información práctica sobre el desempeño del sistema bajo distintos escenarios de irradiación solar y demanda hídrica, así como sobre los requerimientos de operación y mantenimiento preventivo en contextos rurales.
- Desde el punto de vista energético, se espera que la incorporación del bombeo solar reduzca de manera significativa la dependencia de la red eléctrica, contribuyendo a una disminución de los consumos facturados y del gasto recurrente asociado al pago de recibos de electricidad. Esta reducción en los costos energéticos constituye un resultado operativo relevante, al mejorar la previsibilidad de los gastos del sistema de riego y fortalecer la seguridad económica de los usuarios.
- Asimismo, se espera demostrar que las tecnologías solares seleccionadas presentan altos niveles de confiabilidad, con requerimientos de mantenimiento relativamente bajos durante su vida útil, particularmente en el caso de los módulos fotovoltaicos y los sistemas de bombeo solar adecuadamente dimensionados. No obstante, el proyecto piloto permitirá evidenciar que el desempeño y la durabilidad de los sistemas dependen de manera crítica de una instalación de calidad, que respete las especificaciones técnicas del fabricante, las buenas prácticas de montaje y las condiciones particulares de cada sitio.
- Considerando que la infraestructura existente para la extracción de agua (pozos artesanales) presenta limitaciones estructurales, se espera que las configuraciones técnicas propuestas cuenten con márgenes operativos suficientes para adaptarse a variaciones razonables en la carga hidráulica del sistema. En el caso de que los productores realicen mejoras futuras en sus pozos artesanales —por ejemplo, una profundización moderada—, los sistemas SPIS deberán mantener un desempeño adecuado sin requerir modificaciones sustanciales en su configuración.

## 6.2. Resultados productivos, de seguridad alimentaria y valorización de productos en el mercado local

- Desde una perspectiva productiva, se espera que el acceso a un sistema de riego más confiable y sostenible contribuya a mejorar la continuidad y previsibilidad de la producción agrícola, particularmente durante períodos críticos asociados a la variabilidad climática.
- La mejora en la disponibilidad de agua para riego permitirá avanzar hacia una mayor diversificación de cultivos, favoreciendo la producción de hortalizas y otros alimentos de autoconsumo que contribuyen a un mejor balance y calidad de la dieta familiar. Esta diversificación productiva constituye un resultado relevante del proyecto piloto, al reducir la dependencia de un número limitado de cultivos y mejorar la estabilidad de los sistemas agrícolas de pequeña escala.
- No obstante, el proyecto reconoce que la producción obtenida en parcelas de pequeña escala no cubre de manera integral todas las necesidades alimentarias del hogar. En este contexto, los ingresos económicos generados a partir de la mejora en la productividad agrícola y de la reducción de costos operativos asociados al riego desempeñan un rol fundamental, al permitir a las familias adquirir alimentos que no producen directamente, complementando su dieta y contribuyendo a un equilibrio nutricional más adecuado.
- Adicionalmente, se espera que la mayor estabilidad en la producción permita generar excedentes comercializables de manera más regular, los cuales podrán destinarse a mercados locales u otros circuitos cortos de comercialización. En este contexto, la producción asociada a los sistemas SPIS permitirá ofrecer alimentos frescos producidos con agua de origen subterráneo, bajo esquemas de riego controlados, lo que puede contribuir a una mejor percepción de calidad e inocuidad por parte de los consumidores locales.
- Si bien el proyecto piloto no busca promover una inserción a gran escala en mercados formales, la venta ocasional y planificada de excedentes a nivel local constituye un resultado relevante, al fortalecer los ingresos familiares, dinamizar las economías locales y mejorar el acceso de las comunidades a alimentos frescos producidos en el territorio, diferenciados por su origen y manejo del agua.

En conjunto, este enfoque integrado entre producción para autoconsumo, generación de ingresos y comercialización local de excedentes refuerza la contribución del proyecto piloto a la seguridad alimentaria de los hogares, sin asumir supuestos de autosuficiencia productiva ni de expansión comercial que no corresponden a la realidad de los sistemas agrícolas de pequeña escala.

## 6.3. Resultados en capacidades y apropiación tecnológica

En términos de fortalecimiento de capacidades, se espera que el proyecto piloto contribuya a la instalación de capacidades técnicas y operativas a distintos niveles, favoreciendo la apropiación progresiva de los sistemas SPIS y creando condiciones habilitantes para su adopción y escalamiento futuro. Estos resultados se manifiestan de manera diferenciada y complementaria entre los distintos actores involucrados.

### **6.3.1. Capacidades instaladas en pequeños productores**

Se espera que los pequeños productores beneficiarios cuenten con una apropiación técnica inicial adecuada de los sistemas SPIS, reflejada en su capacidad para operar el sistema de manera segura y eficiente, realizar tareas básicas de mantenimiento preventivo y aplicar prácticas responsables de uso del agua y la energía.

Como resultado del proceso de capacitación y acompañamiento, los productores estarán en condiciones de gestionar el sistema SPIS en su operación cotidiana, identificar de manera temprana situaciones anómalas y articularse con los actores de apoyo cuando sea necesario. Esta apropiación técnica sienta las bases para procesos posteriores de fortalecimiento progresivo de capacidades, relacionados con la sostenibilidad del sistema, la resiliencia climática y la planificación productiva y económica asociada al riego.

### **6.3.2. Capacidades institucionales fortalecidas en el MAGA**

Se espera que los ingenieros y extensionistas del MAGA que participan en el proyecto piloto fortalezcan de manera significativa sus capacidades técnicas y operativas en sistemas SPIS, como resultado de su involucramiento directo en las distintas etapas del proceso, incluyendo la coordinación del piloto, la revisión técnica de las configuraciones, la instalación, la puesta en marcha y la operación inicial.

Como resultado, el personal técnico institucional contará con mayores capacidades para acompañar a los productores durante la operación del sistema, apoyar la resolución de incidencias técnicas básicas y articularse de manera efectiva con los proveedores de tecnología.

En una perspectiva de mediano y largo plazo, estas capacidades posicionan al MAGA como un actor clave en procesos de adopción, réplica y despliegue territorial de sistemas SPIS, incluyendo la transferencia de conocimiento hacia otros extensionistas a nivel nacional.

### **6.3.3. Capacidades fortalecidas en los proveedores de tecnología**

Se espera que el proyecto piloto contribuya al fortalecimiento de capacidades de los proveedores de tecnología solar y de bombeo, particularmente en lo relativo a la comprensión del contexto productivo, hídrico y organizativo de los pequeños productores.

Como resultado de su participación en un proceso demostrativo exigente, los proveedores estarán en mejor posición para seleccionar y dimensionar tecnologías adecuadas, no solo para las condiciones actuales de los sistemas, sino considerando escenarios de evolución moderada en el tiempo, elevando los estándares de calidad en la implementación y contribuyendo a la consolidación de un mercado de servicios SPIS más maduro y contextualizado.

### **6.3.4. Fortalecimiento de capacidades de los referentes locales de Monitoreo y Evaluación**

Se espera que los referentes locales que apoyan el proceso de Monitoreo y Evaluación cuenten con capacidades fortalecidas en la recolección de datos, la comprensión básica de los indicadores y la interpretación inicial de la información generada.

Asimismo, se espera que estos actores incorporen principios de ética, responsabilidad y compromiso en el manejo de la información, reconociendo la importancia del M&E como herramienta para la toma de decisiones, la validación del modelo SPIS y el diseño de fases posteriores de asistencia técnica y escalamiento.

## 6.4. Resultados institucionales y territoriales

Se espera que el proyecto piloto SPIS genere resultados relevantes a nivel institucional y territorial, contribuyendo a fortalecer la articulación entre actores públicos, comunitarios y de mercado, y a crear condiciones favorables para la adopción progresiva de sistemas de riego solar en el territorio.

- A nivel institucional, el piloto permitirá validar esquemas de coordinación interinstitucional entre el MARN, MAGA, autoridades municipales y otros actores relevantes, en torno a la implementación, acompañamiento y seguimiento de sistemas SPIS en contextos de pequeña agricultura. Esta articulación constituye un resultado clave, al demostrar la viabilidad de integrar el riego solar dentro de los mecanismos existentes de extensión rural, asistencia técnica y desarrollo productivo a nivel local.
- Desde una perspectiva territorial, la implementación de los pilotos en comunidades organizadas a través de los CADER permitirá fortalecer el rol de estas estructuras como espacios de demostración, aprendizaje colectivo y difusión de buenas prácticas. Se espera que los CADER piloto funcionen como referentes locales, facilitando el intercambio de experiencias con otros CADER del municipio y contribuyendo a la validación social de la tecnología SPIS en el territorio.
- Asimismo, el proyecto piloto contribuirá a sensibilizar y movilizar a otros actores territoriales, incluyendo asociaciones civiles, organizaciones comunitarias y actores locales identificados en el diagnóstico previo, que han manifestado interés en tecnologías de riego y soluciones basadas en energía solar. Este proceso de diseminación del conocimiento fortalece el entorno habilitante para la adopción de SPIS y amplía el alcance del piloto más allá de los sitios de intervención directa.

## 6.5. Resultados para la hoja de ruta y el escalamiento del SPIS

Se espera que el proyecto piloto SPIS genere resultados estratégicos orientados a sustentar la adopción progresiva y el escalamiento de sistemas de riego solar para pequeños productores, más allá de la implementación puntual de los sistemas instalados.

En este sentido, el proyecto piloto permitirá:

- Validar en condiciones reales de operación los supuestos técnicos, operativos e institucionales que sustentan la hoja de ruta para la adopción de sistemas SPIS, incluyendo configuraciones de diseño, esquemas de operación, requerimientos de acompañamiento técnico y condiciones mínimas para la sostenibilidad de los sistemas. Esta validación constituye un insumo clave para ajustar y priorizar las recomendaciones de la hoja de ruta con base en evidencia de campo.
- Reducir la incertidumbre asociada a la adopción de tecnologías SPIS, mediante la generación de aprendizajes prácticos sobre los mecanismos de implementación más adecuados en contextos de pequeña agricultura, la articulación entre actores institucionales, proveedores tecnológicos y productores organizados, así como la identificación de factores habilitantes y riesgos operativos relevantes. Estos aprendizajes fortalecen la base técnica y operativa para el diseño de fases posteriores de asistencia técnica y de programas de adopción a mayor escala.

- Aportar evidencia estratégica para informar decisiones de política pública, diseño de programas y asignación de recursos, tanto a nivel nacional como territorial. En particular, el proyecto piloto contribuye a clarificar el rol del riego solar dentro de las estrategias de seguridad alimentaria, adaptación al cambio climático y desarrollo rural sostenible, fortaleciendo la coherencia entre instrumentos técnicos, financieros e institucionales.

## 7. Conclusiones

A partir del análisis técnico, operativo, institucional y territorial desarrollado en el presente informe, el proyecto piloto de Sistemas de Riego Solar (SPIS) permite extraer las siguientes conclusiones principales, sujetas a validación durante la implementación prevista del piloto:

### **Viabilidad técnica y operativa del SPIS en pequeña agricultura.**

El diseño del proyecto piloto establece que los sistemas SPIS son técnicamente viables para superficies agrícolas de pequeña escala en el corredor seco del departamento de Baja Verapaz, incluso bajo condiciones de información hídrica limitada. La implementación del piloto permitirá validar en condiciones reales de operación las configuraciones autónomas e híbridas propuestas, su capacidad para atender las necesidades de riego, reducir la dependencia de la red eléctrica y fortalecer la seguridad energética de los usuarios, siempre que se asegure una instalación de calidad y un acompañamiento técnico adecuado.

### **Contribución esperada a la producción, la seguridad alimentaria y los medios de vida.**

Se espera que el riego solar contribuya a mejorar la continuidad de la producción agrícola, favorezca la diversificación de cultivos y reduzca costos operativos, con efectos positivos sobre la seguridad alimentaria de los hogares. Esta contribución deberá validarse durante la implementación del piloto, a través de la combinación entre producción para autoconsumo y generación de ingresos mediante la venta ocasional de excedentes en mercados locales, sin asumir supuestos de autosuficiencia productiva.

### **Importancia del fortalecimiento de capacidades y la apropiación tecnológica.**

El proyecto piloto plantea que la sostenibilidad de los sistemas SPIS dependerá en gran medida de la apropiación tecnológica por parte de los usuarios y de las capacidades instaladas en el territorio. La implementación permitirá validar la efectividad de la capacitación progresiva de los pequeños productores, el involucramiento directo de ingenieros y extensionistas del MAGA, la maduración técnica de los proveedores y la formación de referentes locales para el Monitoreo y Evaluación.

### **Valor de la articulación institucional y territorial.**

Se espera que la implementación del piloto evidencie el valor de la articulación entre actores públicos, comunitarios y de mercado, así como el rol de los CADER como plataformas de demostración y aprendizaje colectivo. Esta articulación deberá validarse en la práctica como un factor clave para la adopción progresiva de la tecnología SPIS a nivel territorial.

### **Aporte estratégico esperado a la hoja de ruta para la adopción de SPIS.**

En su conjunto, el proyecto piloto está concebido como un insumo estratégico para validar y fortalecer la hoja de ruta para la adopción de sistemas SPIS por pequeños productores. La evidencia que se genere durante su implementación permitirá reducir la incertidumbre asociada al escalamiento de la tecnología y orientar decisiones futuras de política pública, diseño de programas y provisión de asistencia técnica, en coherencia con los objetivos de seguridad alimentaria, adaptación al cambio climático y desarrollo rural sostenible.





**tta** Energy  
that  
drives  
change

 [Avinguda Meridiana, 153 - Barcelona, ESPAÑA](#)

 +34 93 446 3234



[ttaenergy.com](http://ttaenergy.com)



[TTA - Trama TecnoAmbiental](#)