



## 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

### E6. Hoja de Ruta para un Entorno propicio y Marco de Monitoreo y Evaluación

FECHA 25/01/26

REF CI-24-00129

VERSIÓN 1.0

PREPARADO PARA



Ministerio de  
**Ambiente y  
Recursos Naturales**





<b>PROYECTO:</b>	<b>FOMENTO DE TECNOLOGÍAS DE RIEGO SOSTENIBLE:</b>  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
<b>CLIENTE</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)  Climate Technology Centre and Network (CTCN)
<b>CONSULTOR:</b>	Trama TecnoAmbiental, S.L. (TTA)
<b>FINANCIADO POR:</b>	Fondo de Adaptación a través del Acelerador de Innovación Climática (AFCIA), implementado por el CTCN

## E6. Hoja de Ruta para un Entorno Propicio y Marco de Monitoreo y Evaluación

La presente Hoja de Ruta se sustenta en una serie de entregables desarrollados en el marco del proyecto, los cuales aportaron insumos técnicos y analíticos para su elaboración. Estos documentos se presentan como productos independientes y complementarios, y no forman parte integral del contenido de la Hoja de Ruta.

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/PDF	Final	16/05/2025
E3. Desarrollo de tres diseños potenciales para el Sistema de Riego Solar (SPIS)	Word/PDF	Final	6/08/2025
E4. Selección de Tecnologías	Word/PDF	Borrador	15/12/2025
E5. Proyectos Piloto para las Comunidades Seleccionadas	Word/PDF	Borrador	12/01/2026
E7. Módulos de Diseminación y Formación de Formadores	Word/PDF	Borrador	25/01/2026

**AUTORA** Alma Cota-TTA

**APROBADO POR**

## Tabla de Contenido

Lista de abreviaciones.....	5
Resumen Ejecutivo .....	6
1. Introducción .....	7
1.1. ....Agricultura a pequeña escala, seguridad alimentaria y vulnerabilidad climática .....	7
1.2. ....Justificación estratégica del riego solar en Guatemala.....	8
1.3. ....Objetivo, alcance y público objetivo de la Hoja de Ruta.....	9
1.4. ....Enfoque metodológico y estructura del documento .....	10
2. Contexto y estado actual del riego y los SPIS en Guatemala .....	11
2.1. ....Prácticas actuales de riego y acceso al agua.....	11
2.2. ....Uso de energía para riego y costos asociados .....	11
2.3. ....Nivel actual de adopción de SPIS .....	12
2.4. ....Oportunidades y límites del contexto guatemalteco para SPIS .....	13
3. Principales barreras para la adopción y el escalamiento de SPIS.....	14
3.1. ....Barreras técnicas y de diseño de sistemas.....	14
3.2. ....Barreras relacionadas con el acceso al agua y su sostenibilidad .....	15
3.3. ....Barreras económicas y financieras.....	15
3.4. ....Articulación institucional y desafíos de coordinación.....	16
3.5. ....Barreras de mercado, proveedores y aseguramiento de calidad .....	16
3.6. ....Barreras sociales, organizativas y de apropiación tecnológica .....	17
4. Visión estratégica y principios rectores para SPIS .....	19
4.1. ....Principios rectores de la Hoja de Ruta.....	19
4.1.1. Principios estratégicos .....	20
4.1.2. Principios operativos .....	20
4.2. ....Criterios para una adopción sostenible y escalable de SPIS .....	20
4.2.1. Criterios estratégicos.....	20
4.2.2. Criterios operativos.....	21
4.3. ....Rol de los pequeños productores y del territorio .....	21
4.4. ....Enfoque de género e inclusión social .....	22
5. Marco habilitante para la adopción sostenible de SPIS .....	23
5.1. ....Gobernanza, marco normativo y roles institucionales para la adopción de SPIS .....	23
5.1.1. Alineación con el marco normativo y de políticas públicas en Guatemala .....	23
5.1.2. Roles institucionales clave.....	25
5.1.3. Rol de los actores territoriales y gobernanza operativa.....	27
5.1.4. Rol del sector privado y aseguramiento de la calidad (enfoque de gobernanza)...	27
5.1.5. Coordinación, aprendizaje y ajuste institucional.....	27
5.2. ....Integración de SPIS en políticas, programas y extensión agrícola .....	28

5.2.1.	Integración programática y alineación con instrumentos existentes .....	28
5.2.2.	Rol de los servicios de extensión agrícola en la adopción de SPIS.....	28
5.2.3.	Uso estratégico de herramientas digitales y comunicación para la extensión .....	29
5.2.4.	Enfoque territorial y adopción progresiva .....	29
5.3.....	Lineamientos técnicos, estandarización y control de calidad .....	29
5.3.1.	Principios técnicos orientadores para el diseño de SPIS.....	30
5.3.2.	Criterios técnicos y referencia de calidad .....	30
5.3.3.	Aseguramiento de la calidad y gestión de riesgos técnicos .....	30
5.3.4.	Vinculación entre lineamientos técnicos y fortalecimiento del mercado SPIS .....	31
5.3.5.	Enfoque adaptativo y mejora continua de los lineamientos técnicos .....	31
5.4.....	Desarrollo de capacidades locales y acompañamiento técnico.....	32
5.4.1.	Capacidades de los pequeños productores y actores comunitarios .....	32
5.4.2.	Rol de los servicios de extensión agrícola y del modelo CADER .....	32
5.4.3.	Capacidades institucionales para la gestión del proceso de adopción.....	33
5.4.4.	Acompañamiento técnico y aprendizaje continuo.....	33
5.4.5.	Uso de información agroclimática para la toma de decisiones productivas.....	33
5.4.6.	Comunicaciones digitales como complemento al acompañamiento técnico .....	34
5.5.....	Rol del sector privado y fortalecimiento del mercado SPIS .....	34
6.	El rol de los proyectos piloto en la adopción de SPIS .....	36
6.1.....	Función estratégica de los pilotos como instrumentos habilitantes.....	36
6.2.....	Criterios de selección, alcance y limitaciones del enfoque piloto .....	36
6.3.....	Aprendizajes técnicos, operativos y sociales derivados de los pilotos.....	37
6.4.....	Contribución de los pilotos a la reducción de riesgos .....	37
6.5.....	Uso de la evidencia piloto para decisiones de política y escalamiento .....	38
7.	Hoja de Ruta para la adopción y el escalamiento de SPIS.....	39
	Fase 1. Establecimiento institucional e implementación piloto .....	39
	Fase 2. Evaluación y optimización .....	39
	Fase 3. Expansión y ampliación .....	39
7.1.....	Secuencia lógica de implementación y actores involucrados .....	41
8.	Modelo financiero y esquemas de apoyo para SPIS.....	42
8.1.....	Principios orientadores del modelo financiero para SPIS .....	42
8.2.....	Subsidios inteligentes como mecanismo habilitante .....	42
8.3.....	Financiamiento productivo adaptado a la agricultura a pequeña escala.....	43
8.4.....	Gestión de riesgos, garantías y sostenibilidad económica .....	43
8.5.....	Articulación del modelo financiero con la Hoja de Ruta.....	44
9.	Monitoreo, evaluación y aprendizaje para el escalamiento de SPIS .....	45
9.1.....	Objetivos del sistema de monitoreo, evaluación y aprendizaje .....	45
10.	Replicabilidad y escalamiento territorial.....	47

10.1.....Condiciones mínimas para la replicación del modelo SPIS .....	47
10.2.....Adaptación a distintos niveles de madurez territorial .....	47
10.3.....Estrategia de expansión progresiva a nivel nacional .....	48
10.4.....Rol de la evidencia y el aprendizaje para la replicabilidad .....	48
10.5.....Replicabilidad como proceso adaptativo y no prescriptivo .....	49
11. Conclusiones y llamado a la acción .....	50

## Lista de abreviaciones

Abreviación	Descripción
AEA	Enfoque del Nexo Agua-Energía-Alimentos
AFCIA	Acelerador de Innovación Climática
CADER	Centros de Aprendizaje para el Desarrollo Rural
COCODE	Consejos Comunitarios de Desarrollo
CTCN	Centro y Red de Tecnología Climática
M&E	Monitoreo, Evaluación y Aprendizaje
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MINFIN	Ministerio de Finanzas Públicas
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
PNDRI	Política Nacional de Desarrollo Rural Integral
SPIS	Sistemas de riego solar sostenible
TTA	Trama TecnoAmbiental S.L.

## Resumen Ejecutivo

La agricultura a pequeña escala en Guatemala enfrenta vulnerabilidad climática, presión sobre recursos hídricos y limitaciones para acceder a energía confiable y asequible. En regiones como el Corredor Seco, estas condiciones se traducen en sequías recurrentes, pérdidas agrícolas, inseguridad alimentaria y fragilidad de los medios de vida rurales.

Los sistemas de riego solar sostenible (SPIS) representan una alternativa tecnológica con potencial para mejorar la disponibilidad de agua para riego, reducir costos operativos y disminuir la dependencia de fuentes energéticas convencionales. La evidencia internacional indica que la adopción de SPIS requiere procesos de transferencia tecnológica con condiciones habilitantes, capacidades institucionales, arreglos financieros adecuados y una implementación progresiva basada en aprendizaje.

Esta Hoja de Ruta se desarrolla en el marco de la asistencia técnica impulsada por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), como Entidad Nacional Designada (NDE) ante el Climate Technology Centre and Network (CTCN). Su objetivo es establecer un marco estratégico y operativo para orientar la adopción y el escalamiento sostenible de SPIS, alineado con objetivos nacionales de adaptación al cambio climático, seguridad alimentaria y desarrollo rural sostenible.

El documento incorpora el enfoque agua-energía-alimentos, considerando que la sostenibilidad de los SPIS depende tanto del diseño técnico como del contexto institucional, social y territorial en que se adopten. Para estructurar la propuesta, se parte de un diagnóstico del contexto nacional de riego y energía, la identificación de barreras técnicas, económicas, institucionales, de mercado y sociales, y la definición de principios y criterios para una adopción sostenible.

Los proyectos piloto se plantean como instrumentos para generar evidencia técnica, productiva, financiera e institucional, validar supuestos de diseño y ajustar criterios antes de avanzar hacia esquemas de mayor alcance. Su función es reducir riesgos y apoyar el aprendizaje, no la cobertura inmediata.

La Hoja de Ruta propone una estrategia de implementación escalonada en tres fases:

Fase 1: Establecimiento institucional e implementación piloto

Fase 2: Evaluación y optimización

Fase 3: Expansión y ampliación

Esta secuencia asume que la adopción de SPIS es un proceso gradual que requiere consolidar capacidades, ajustar instrumentos, fortalecer gobernanza y contar con mecanismos de financiamiento y seguimiento. De forma transversal, se incluyen criterios para sostenibilidad económica y territorial, subsidios decrecientes, esquemas de pago adaptados, aseguramiento de la calidad, gobernanza territorial y mecanismos de monitoreo.

En síntesis, la Hoja de Ruta ofrece una base técnica e institucional para ordenar la adopción de riego solar sostenible en Guatemala. No constituye un plan de implementación ni fija metas de cobertura, sino un marco estratégico y operativo flexible que puede adaptarse a distintos territorios, niveles de madurez institucional y disponibilidades de recursos, orientando la toma de decisiones de política pública, el diseño programático y la movilización progresiva de financiamiento.

## 1. Introducción

La adopción de sistemas de riego impulsados por energía solar representa una oportunidad estratégica para fortalecer la resiliencia productiva de la agricultura a pequeña escala, mejorar el uso eficiente del agua y reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático en territorios rurales con alta presión hídrica y energética. En el contexto del Corredor Seco de Guatemala, donde la variabilidad climática, la irregularidad de las lluvias y las limitaciones estructurales de acceso al agua y la energía condicionan la producción agrícola, el riego se consolida como un factor crítico para la estabilidad productiva y la seguridad alimentaria.

En este documento, el término SPIS corresponde a la denominación internacional Solar-Powered Irrigation Systems. No obstante, más allá de su traducción literal, el concepto se utiliza para referirse a sistemas de riego solar sostenible, entendidos como soluciones integrales que articulan el uso de energía solar con prácticas de riego eficiente, sostenibilidad en el uso del recurso hídrico, viabilidad productiva y apropiación social a nivel territorial.

Si bien los sistemas de riego solar han sido promovidos a nivel internacional como una alternativa para mejorar la productividad agrícola, reducir la dependencia de combustibles fósiles y avanzar hacia modelos de producción más sostenibles, la evidencia muestra que su adopción exitosa no depende únicamente de la instalación de tecnología, sino de las condiciones institucionales, técnicas, financieras y sociales en las que se implementan. En ausencia de estas condiciones habilitantes, los sistemas pueden enfrentar riesgos de dimensionamiento, uso ineficiente del agua, fallas operativas o abandono temprano, lo que refuerza la necesidad de un enfoque progresivo basado en aprendizaje, acompañamiento técnico e institucional y fortalecimiento de capacidades locales.

La presente Hoja de Ruta se desarrolla en el marco del proyecto “Promoción de tecnologías de riego sostenible desde un enfoque de nexo agua-energía-alimentos (WEF) para reducir el riesgo climático de pequeños productores en los municipios de Rabinal y San Miguel Chicaj, en el Corredor Seco del departamento de Baja Verapaz, Guatemala”, implementado con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), a través del Climate Technology Centre and Network (CTCN), en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y otras instituciones nacionales y territoriales.

### 1.1. Agricultura a pequeña escala, seguridad alimentaria y vulnerabilidad climática

La agricultura a pequeña escala constituye uno de los pilares de la seguridad alimentaria en Guatemala y representa una fuente fundamental de ingresos y subsistencia para numerosos hogares rurales. Estos sistemas productivos se caracterizan, en su mayoría, por unidades de pequeña escala, una alta dependencia de la lluvia y una capacidad limitada para absorber choques climáticos, económicos y productivos.

En amplias zonas del país —particularmente en el Corredor Seco— la variabilidad climática, la recurrencia de sequías y la degradación de los recursos naturales han incrementado la vulnerabilidad de los hogares agrícolas, afectando tanto la disponibilidad como el acceso a alimentos. La estacionalidad de la producción y la exposición a eventos climáticos extremos

generan ciclos recurrentes de inseguridad alimentaria, que se ven agravados por la limitada diversificación productiva y el acceso restringido a infraestructura agrícola adecuada.

En este contexto, el acceso confiable al agua para riego cumple una función estratégica que trasciende el aumento puntual de la productividad agrícola. El riego permite reducir la dependencia exclusiva de las lluvias, mejorar la continuidad de la producción a lo largo del año y fortalecer la resiliencia de los medios de vida rurales, siempre que se implemente de manera técnicamente adecuada, ambientalmente sostenible y económicamente viable.

La adopción de soluciones de riego en la agricultura a pequeña escala debe, por tanto, entenderse como una condición habilitante para la estabilidad de los sistemas alimentarios locales y para la reducción de la vulnerabilidad climática. No obstante, su efectividad depende de la disponibilidad sostenible de las fuentes de agua, del uso eficiente del recurso hídrico y de la articulación con modelos energéticos y productivos adecuados a las realidades territoriales.

## 1.2. Justificación estratégica del riego solar en Guatemala

Los sistemas de riego solar sostenible (SPIS) representan una alternativa tecnológica con alto potencial estratégico para responder a los desafíos estructurales del riego en la agricultura a pequeña escala guatemalteca. Al aprovechar un recurso solar abundante y distribuido en el territorio, los SPIS permiten desacoplar el acceso al agua para riego de la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles, así como de la inestabilidad del servicio eléctrico y de los altos costos de la electricidad percibidos por los pequeños productores, contribuyendo a una mayor previsibilidad y estabilidad en los sistemas productivos rurales.

Desde el punto de vista técnico, los SPIS ofrecen soluciones robustas y adaptables a contextos de pequeña escala, especialmente cuando se implementan de manera integrada con sistemas de almacenamiento de agua y tecnologías de riego eficiente, particularmente el riego por goteo. Estas configuraciones permiten optimizar el uso del recurso hídrico, reducir pérdidas y adecuar la aplicación de agua a las necesidades reales de los cultivos, al tiempo que disminuyen la complejidad operativa y facilitan la apropiación tecnológica por parte de los pequeños productores, siempre que estén acompañadas de un diseño adecuado y de procesos de capacitación y seguimiento.

En términos económicos y sociales, el riego solar contribuye a reducir costos operativos recurrentes, mejorar la previsibilidad del riego y fortalecer la capacidad de los pequeños productores para planificar ciclos productivos más estables y resilientes. Si bien la inversión inicial puede representar una barrera significativa para la agricultura a pequeña escala, la experiencia muestra que los beneficios del riego solar deben entenderse principalmente como una inversión en resiliencia climática, seguridad alimentaria y estabilidad de los medios de vida rurales, más que como un proyecto estrictamente rentable en el corto plazo.

A nivel estratégico, la adopción progresiva de SPIS se alinea con los esfuerzos del Gobierno de Guatemala orientados a fortalecer la adaptación al cambio climático, el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza, particularmente en territorios rurales con alta vulnerabilidad climática. En este marco, el riego solar es coherente con las prioridades nacionales de gestión sostenible de los recursos naturales, seguridad alimentaria y resiliencia productiva, así como con los criterios de focalización social y elegibilidad promovidos por el Ministerio de Finanzas Públicas, en el contexto del Marco de Finanzas Sostenibles de la República de Guatemala.

Asimismo, el enfoque promovido en esta Hoja de Ruta reconoce que la adopción de SPIS debe contribuir no solo a la productividad agrícola, sino también a la protección de la salud y el bienestar de las comunidades rurales. En este sentido, la priorización de fuentes de agua subterránea y de tecnologías de riego eficiente constituye un elemento clave para reducir riesgos sanitarios asociados al uso de fuentes superficiales contaminadas, incluyendo la posible contaminación de alimentos irrigados, al tiempo que fortalece la sostenibilidad ambiental y social de las intervenciones.

La presente Hoja de Ruta adopta un enfoque transversal que integra el nexo agua-energía-alimentos, la adaptación al cambio climático, la eficiencia en el uso del agua, la equidad de género, la seguridad alimentaria y nutricional, y el fortalecimiento de capacidades, los cuales orientan de manera consistente el análisis y las acciones propuestas a lo largo del documento.

### 1.3. Objetivo, alcance y público objetivo de la Hoja de Ruta

El objetivo de la presente Hoja de Ruta es establecer un marco estratégico y operativo que oriente y facilite la adopción progresiva, ordenada y sostenible de SPIS por parte de pequeños productores agrícolas en Guatemala. El documento busca servir como referencia para la toma de decisiones de política pública, el diseño de programas y la movilización de recursos, a partir de una comprensión clara de las barreras existentes, las condiciones habilitantes y las acciones necesarias para escalar esta tecnología de manera responsable.

La Hoja de Ruta se presenta como un instrumento orientador, destinado a apoyar la formulación de políticas, la planificación programática y la coordinación interinstitucional para la adopción de SPIS, sin establecer compromisos normativos ni esquemas de inversión cerrados.

El documento no define diseños técnicos específicos ni sustituye estudios de factibilidad, sino que proporciona lineamientos estratégicos y una secuencia lógica de acciones que permiten estructurar procesos de adopción y escalamiento de SPIS, considerando las realidades institucionales, territoriales y productivas del país.

El público objetivo de la Hoja de Ruta incluye instituciones públicas responsables de la agricultura, el ambiente y el desarrollo rural—incluyendo al MARN y al Ministerio de Agricultura, Ganadería y (MAGA)—; entidades financieras y cooperativas interesadas en financiamiento productivo; organizaciones de cooperación y donantes; proveedores de tecnología y servicios; así como actores territoriales involucrados en procesos de extensión agrícola y acompañamiento técnico. En este sentido, el documento busca facilitar la articulación entre estos actores, promoviendo un enfoque coordinado y coherente para la adopción del riego solar a nivel territorial y nacional.

#### Recuadro 1. Definición operativa y foco de intervención de la Hoja de Ruta

Para efectos de esta Hoja de Ruta, el término “pequeños productores” se refiere a productores agrícolas que operan unidades productivas de agricultura a pequeña escala, caracterizadas por superficies reducidas, acceso limitado a tecnología y financiamiento, y

una producción orientada principalmente al autoconsumo, con generación de excedentes ocasionales.

A partir de los diagnósticos de campo y de las reuniones iniciales de validación realizadas con actores institucionales y territoriales, la Hoja de Ruta prioriza como foco de intervención a unidades productivas de hasta una hectárea, por ser las más predominantes y las que presentan mayores niveles de vulnerabilidad climática y productiva en los territorios analizados.

## 1.4. Enfoque metodológico y estructura del documento

La presente Hoja de Ruta se construye a partir de un enfoque integrador y una lógica progresiva, que combina análisis técnico, económico, social e institucional con aprendizajes derivados del desarrollo de actividades de campo. Este enfoque permite traducir evidencia técnica y operativa en orientaciones estratégicas claras para la toma de decisiones y al escalamiento responsable de la tecnología.

Metodológicamente, la Hoja de Ruta prioriza una lógica de síntesis explicativa, orientada a identificar los factores críticos que condicionan la adopción de SPIS en contextos de agricultura a pequeña escala, así como las acciones necesarias para habilitar su implementación a mayor escala. El documento no reproduce diagnósticos detallados ni diseños técnicos específicos, sino que eleva los principales hallazgos a un nivel estratégico, con énfasis en la identificación de barreras, condiciones habilitantes y secuencias de acción.

El análisis incorpora una perspectiva territorial y de ciclo de adopción, considerando que la implementación exitosa de SPIS requiere no solo soluciones tecnológicas adecuadas, sino también arreglos institucionales, mecanismos financieros, capacidades locales y procesos de acompañamiento que evolucionan en el tiempo. En este sentido, la Hoja de Ruta organiza las acciones propuestas en fases progresivas de implementación, reconociendo que la adopción y consolidación del riego solar es un proceso gradual, acumulativo y basado en aprendizaje.

La estructura del documento responde a esta lógica metodológica. En primer lugar, se presenta el contexto y el estado actual del riego y de los SPIS en Guatemala. A continuación, se identifican las principales barreras para la adopción y escalamiento de la tecnología, seguidas de la definición de una visión estratégica y de los principios rectores que orientan la Hoja de Ruta. Posteriormente, se desarrolla el marco habilitante necesario para la adopción sostenible de SPIS y se analiza el rol de los proyectos piloto como instrumentos de aprendizaje y reducción de riesgos.

Finalmente, el documento presenta la Hoja de Ruta propiamente dicha, estructurada por horizontes temporales, junto con lineamientos para el modelo financiero, el monitoreo, la evaluación y el aprendizaje, y consideraciones para la replicabilidad y el escalamiento territorial.

Esta organización busca asegurar que la Hoja de Ruta constituya un documento coherente, autocontenido y accionable, concebido como una referencia práctica para actores públicos y privados involucrados en la adopción y promoción de sistemas de riego impulsados por energía solar en Guatemala.

## 2. Contexto y estado actual del riego y los SPIS en Guatemala

El objetivo de este capítulo es establecer una línea base analítica para identificar brechas, riesgos y oportunidades en la adopción de sistemas de riego solar sostenible (SPIS), a partir de las realidades operativas del territorio, las capacidades de los pequeños productores y el entorno institucional y de mercado. Este análisis permite comprender por qué la adopción de SPIS no debe abordarse como una solución aislada, y sustenta la necesidad de un enfoque progresivo, articulado y sostenible, que se desarrolla en los capítulos posteriores

### 2.1. Prácticas actuales de riego y acceso al agua

Las prácticas de riego utilizadas por pequeños productores en Guatemala son diversas y, en muchos casos, limitadas en términos de eficiencia, control y seguridad del recurso hídrico. En una parte importante de las parcelas agrícolas, el riego es inexistente o se realiza mediante prácticas manuales, lo que mantiene una alta dependencia de la estacionalidad de las lluvias y restringe la estabilidad de la producción agrícola.

Cuando existen sistemas de riego, estos suelen basarse en la captación de agua mediante sistemas de bombeo, utilizando tanto fuentes superficiales como subterráneas, generalmente con un control limitado sobre los volúmenes extraídos. No obstante, en las zonas analizadas se identificó que las fuentes de agua superficial presentan elevados niveles de contaminación, asociados a descargas domésticas, hospitalarias y actividades agrícolas, así como a la ausencia de sistemas adecuados de tratamiento. Esta condición compromete la calidad del agua y representa riesgos para la salud de las comunidades rurales, lo que limita de manera significativa la idoneidad del uso de fuentes superficiales para riego en la agricultura a pequeña escala.

En consecuencia, el presente proyecto descarta desde su diseño el uso de fuentes de agua superficial para la implementación de sistemas de riego y establece como criterio técnico prioritario el uso de fuentes de agua subterránea. Esta decisión responde a consideraciones de salud pública, calidad del agua y sostenibilidad de las intervenciones, y busca garantizar condiciones más seguras y controlables para el abastecimiento de agua en sistemas de riego de agricultura a pequeña escala.

De manera adicional, las prácticas de riego observadas presentan, en general, bajos niveles de eficiencia en el uso del agua, asociados al empleo de sistemas de bombeo y distribución que no responden a las necesidades hídricas reales de los cultivos. En este contexto, la incorporación de tecnologías de riego de alta eficiencia —particularmente el riego por goteo— se identifica como un elemento estructural para mejorar el desempeño hídrico de los sistemas de riego, optimizar la aplicación del agua y reducir riesgos técnicos y productivos asociados a la actividad agrícola.

### 2.2. Uso de energía para riego y costos asociados

El acceso a energía constituye uno de los principales factores que condicionan la viabilidad del riego en la agricultura a pequeña escala en Guatemala. En estos sistemas productivos, el bombeo de agua desde fuentes subterráneas depende tradicionalmente del uso de motores de combustión

o del suministro de la red eléctrica convencional, ambos asociados a costos operativos elevados y a una alta variabilidad en el gasto energético.

El uso de motores de combustión implica una dependencia de combustibles fósiles con precios volátiles, lo que genera costos recurrentes y riesgos de abastecimiento que limitan el uso sostenido del riego en la agricultura a pequeña escala.

Por su parte, el acceso a la red eléctrica convencional para fines de riego presenta limitaciones importantes en zonas rurales, tanto por la calidad del servicio como por los altos. En muchos casos, el costo de la electricidad para bombeo resulta elevado en relación con los márgenes de la producción agrícola, lo que desincentiva el uso continuo del riego y afecta la capacidad de planificación productiva de los hogares rurales.

En conjunto, estas condiciones convierten el acceso a energía en una barrera estructural para la adopción de riego eficiente en la agricultura a pequeña escala.

La integración de tecnologías de riego eficiente, particularmente el riego por goteo, permite reducir de manera significativa la demanda total de agua y, en consecuencia, los requerimientos energéticos asociados al bombeo desde fuentes subterráneas. Esta reducción constituye un factor clave para mejorar la viabilidad técnica y económica de soluciones basadas en energía solar, y es un elemento central del enfoque promovido por esta Hoja de Ruta.

En este contexto, los sistemas de riego solar sostenible (SPIS) ofrecen una alternativa que permite desacoplar el acceso al riego de la volatilidad de los costos energéticos, al eliminar o reducir de manera significativa los gastos operativos asociados al consumo de combustibles fósiles o electricidad de red. Si bien los SPIS requieren una inversión inicial, su adopción puede generar beneficios sostenidos en el tiempo, al reducir costos recurrentes, mejorar la previsibilidad del riego y fortalecer la resiliencia productiva de los pequeños productores.

Desde el enfoque del nexo agua-energía-alimentos, la adopción de SPIS integrados con riego por goteo no solo mejora la eficiencia energética y la sostenibilidad económica del riego, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria y a la estabilidad de los sistemas productivos rurales. Esta integración sienta las bases para el análisis de barreras, oportunidades y acciones estratégicas que se desarrollan en los capítulos siguientes de la Hoja de Ruta.

### 2.3. Nivel actual de adopción de SPIS

La adopción de SPIS en Guatemala es aún limitada y se concentra principalmente en experiencias puntuales impulsadas por productores con mayor capacidad de inversión. En el contexto de la agricultura a pequeña escala, el uso de energía solar para el bombeo de agua continúa siendo incipiente y poco sistematizado.

La expansión de los SPIS se ha visto restringida por barreras económicas y financieras, en particular por el costo inicial de inversión y el acceso limitado a mecanismos de financiamiento adaptados a las condiciones productivas y organizativas de la agricultura a pequeña escala. Desde una perspectiva de mercado, esta situación se ve reforzada por la limitada disponibilidad de proveedores con experiencia comprobada en bombeo solar para riego, así como por la ausencia de mecanismos formales de aseguramiento de la calidad y seguimiento post-instalación.

En conjunto, estas condiciones han contribuido a que los SPIS sean percibidos como soluciones de alto riesgo o poco accesibles para la mayoría de los pequeños productores, a pesar de su

potencial para reducir costos operativos, mejorar la previsibilidad del riego y fortalecer la resiliencia productiva

## 2.4. Oportunidades y límites del contexto guatemalteco para SPIS

Guatemala cuenta con un recurso solar favorable para el uso de soluciones fotovoltaicas en la agricultura a pequeña escala. En estos contextos, el riego se ha vuelto una condición cada vez más necesaria para sostener la producción agrícola frente a la variabilidad de las lluvias. Esto abre una oportunidad para tecnologías que permitan asegurar el acceso al riego sin depender de combustibles fósiles o de un suministro eléctrico costoso e inestable para los pequeños productores.

La estructura predominante de la agricultura a pequeña escala representa una oportunidad adicional para la adopción de SPIS, en tanto se trata de unidades productivas cuyas escalas de demanda hídrica y energética son compatibles con soluciones solares para bombeo y riego.

Desde una perspectiva estratégica, la adopción de SPIS es coherente con las prioridades nacionales en materia de adaptación al cambio climático, desarrollo rural sostenible y seguridad alimentaria, así como con el enfoque del nexo agua-energía-alimentos. Esta alineación crea condiciones favorables para la articulación institucional y el diseño de programas orientados a la promoción del riego sostenible.

No obstante, el contexto guatemalteco también presenta límites que deben ser reconocidos explícitamente. La adopción de SPIS no constituye una solución universal ni inmediata, y su viabilidad depende de factores críticos como la disponibilidad y sostenibilidad de las fuentes de agua subterránea, la calidad del diseño técnico, las capacidades locales de operación y mantenimiento y la existencia de mecanismos financieros adaptados a la agricultura a pequeña escala.

La exclusión de fuentes de agua superficial, debido a problemas generalizados de contaminación y riesgos para la salud, implica una mayor dependencia de fuentes subterráneas y refuerza la necesidad de una gestión cuidadosa del recurso. En este contexto, el uso eficiente del agua y la integración obligatoria de tecnologías de riego de alta eficiencia se convierten en condiciones esenciales para la sostenibilidad de las soluciones SPIS.

Finalmente, el contexto guatemalteco pone de relieve la importancia de seguir fortaleciendo capacidades técnicas, de mercado y de acompañamiento para la adopción de los SPIS. Aspectos como la ampliación de la oferta de proveedores calificados, el avance en criterios técnicos comunes y el acompañamiento continuo a los productores representan áreas clave para consolidar una adopción progresiva, basada en aprendizaje, validación piloto y fortalecimiento institucional.

Este balance entre oportunidades y límites establece el marco para la identificación de barreras estructurales y la definición de acciones estratégicas que se desarrollan en el capítulo siguiente.

### 3. Principales barreras para la adopción y el escalamiento de SPIS

La adopción y el escalamiento de SPIS en Guatemala enfrentan un conjunto de barreras interrelacionadas de carácter técnico, económico, institucional y social. Estas barreras no actúan de manera aislada, sino que se refuerzan mutuamente y condicionan la viabilidad de las soluciones SPIS en contextos de agricultura a pequeña escala y alta vulnerabilidad climática. Su identificación clara constituye un paso fundamental para la definición de acciones estratégicas realistas y sostenibles.

#### 3.1. Barreras técnicas y de diseño de sistemas

Una de las principales barreras técnicas para la adopción y el escalamiento de SPIS en contextos de agricultura a pequeña escala en Guatemala está relacionada con las condiciones físicas y el conocimiento limitado de las fuentes de agua disponibles. En muchas de las zonas rurales evaluadas, los sistemas de riego existentes dependen de pozos artesanales de poca profundidad, con tasas de recarga lentas y niveles dinámicos altamente variables, lo que condiciona de manera crítica la viabilidad del bombeo continuo.

Un desafío técnico relevante es que la mayoría de los pozos artesanales no se encuentran aforados, ni cuentan con información básica sobre caudal disponible, abatimiento o comportamiento estacional. Esta falta de información hace imposible realizar diseños hidráulicos y energéticos óptimos, y aumenta significativamente el riesgo de dimensionamiento no adecuado de los SPIS. En ausencia de datos confiables, las decisiones de diseño suelen basarse en supuestos empíricos, lo que afecta el desempeño y la sostenibilidad de las soluciones implementadas.

Adicionalmente, aunque existe un conocimiento general sobre tecnologías solares fotovoltaicas a nivel rural, el conocimiento específico sobre sistemas de bombeo solar es limitado. Las experiencias previas en muchas comunidades son de carácter empírico y no están orientadas específicamente al bombeo de agua para riego, sino a aplicaciones básicas de electrificación. Esta brecha de conocimiento técnico se traduce en errores de selección de equipos, configuraciones inadecuadas y expectativas poco realistas sobre el funcionamiento de los SPIS.

Otra barrera técnica importante es la disponibilidad limitada de proveedores especializados en sistemas de bombeo solar, particularmente con experiencia comprobada en contextos rurales. Esta situación restringe la oferta de soluciones adecuadas, dificulta la estandarización técnica y limita el acceso a servicios de diseño, instalación y soporte postventa de calidad.

En cuanto a la infraestructura existente, se observa que muchos pequeños productores utilizan estanques de almacenamiento a nivel del suelo, generalmente abiertos, como parte de sus sistemas de riego. Estas soluciones, si bien responden a prácticas locales, presentan limitaciones técnicas importantes en términos de eficiencia hídrica, pérdidas por evaporación, riesgos de contaminación y restricciones para una integración eficiente con sistemas de riego por goteo y bombeo solar.

Finalmente, si bien la profundización de pozos podría representar una solución técnica para mejorar la disponibilidad de agua en algunos casos, su alto costo constituye una barrera

significativa para la agricultura a pequeña escala. En este sentido, la presente Hoja de Ruta reconoce que el proyecto no aborda la profundización de pozos como parte de la adopción de SPIS, sino que se enfoca en maximizar el aprovechamiento del agua disponible mediante estrategias operativas adecuadas.

### **3.2. Barreras relacionadas con el acceso al agua y su sostenibilidad**

El acceso seguro y sostenible al agua representa una condición habilitante crítica para los SPIS. En el contexto del presente proyecto, la exclusión de fuentes de agua superficial —debido a problemas generalizados de contaminación y riesgos asociados a la salud— implica una dependencia directa de fuentes de agua subterránea, cuya disponibilidad y sostenibilidad deben evaluarse cuidadosamente.

El fortalecimiento de la información hidrogeológica a escala local y de los mecanismos sistemáticos de monitoreo del uso de agua subterránea contribuiría a reducir la incertidumbre sobre la sostenibilidad de las extracciones a mediano y largo plazo. Este fortalecimiento es relevante para evitar incrementos en la presión sobre las fuentes subterráneas y asegurar que, aun con soluciones energéticamente sostenibles, se mantenga la disponibilidad del recurso para los pequeños productores en el tiempo.

### **3.3. Barreras económicas y financieras**

El acceso a financiamiento es una de las principales barreras para la adopción de SPIS en la agricultura a pequeña escala en Guatemala. Aunque estos sistemas pueden reducir costos operativos en el mediano y largo plazo, la inversión inicial requerida suele exceder la capacidad financiera de los pequeños productores.

En territorios de alta vulnerabilidad climática, una parte relevante de la producción agrícola se sostiene a través de grupos de mujeres organizadas, con un rol activo en la producción de alimentos y la gestión del riego. No obstante, el acceso de estos grupos a crédito productivo para inversiones en tecnologías como los SPIS es limitado y poco sistematizado.

Las instituciones financieras formales suelen considerar a la agricultura a pequeña escala —y en particular a las organizaciones de mujeres— como un sector de mayor riesgo, debido a ingresos variables, disponibilidad limitada de garantías y ausencia de historiales crediticios. Esta situación se agrava cuando los grupos no cuentan con personería jurídica, lo que restringe su reconocimiento como sujetos de crédito y su acceso a productos financieros, contratos, subsidios y esquemas formales de financiamiento.

Como resultado, incluso organizaciones con experiencia productiva y estructuras internas consolidadas enfrentan dificultades para acceder a financiamiento destinado a inversiones como los SPIS, generándose una brecha entre su rol productivo y su capacidad de inversión.

Adicionalmente, los modelos financieros convencionales suelen estar orientados a inversiones individuales y no consideran adecuadamente esquemas colectivos de inversión y gestión, frecuentes en la agricultura a pequeña escala. Esto limita el reconocimiento de arreglos

productivos y de uso compartido del agua, aun cuando estos resulten operativamente viables para la adopción de los SPIS.

Estas barreras evidencian la necesidad de desarrollar mecanismos financieros adaptados a la agricultura a pequeña escala, sensibles a las dinámicas organizativas y al enfoque de género, que faciliten una adopción inclusiva y sostenible de los SPIS.

### **3.4. Articulación institucional y desafíos de coordinación**

La adopción y el escalamiento de SPIS requieren un entorno institucional capaz de articular de manera coherente los ámbitos de agua, energía, agricultura, ambiente, financiamiento y desarrollo territorial. Dada la naturaleza intersectorial de los SPIS, su implementación efectiva depende de mecanismos de coordinación que permitan alinear objetivos, criterios técnicos y escalas de intervención entre las entidades con competencias relevantes.

En el contexto guatemalteco, los instrumentos de política pública y los programas vinculados al riego, la energía, la adaptación al cambio climático, la seguridad alimentaria y el desarrollo rural actualmente operan con enfoques sectoriales acordes a sus mandatos. Si bien estos enfoques responden a mandatos específicos, su articulación resulta clave para facilitar la adopción de soluciones integradas como los SPIS, particularmente en la agricultura a pequeña escala.

A nivel territorial, los servicios de extensión agrícola y las estructuras locales cumplen un rol central en la implementación en campo, y su fortalecimiento progresivo resulta fundamental para asegurar un acompañamiento técnico continuo y adaptado a las realidades de los pequeños productores.

Por otra parte, la coordinación entre instituciones públicas, actores financieros, proveedores tecnológicos y organizaciones locales suele apoyarse en iniciativas o proyectos específicos. La consolidación de mecanismos más estables de articulación permitiría fortalecer la continuidad, coherencia y escalabilidad de los esfuerzos orientados a la adopción de SPIS.

Finalmente, el aprovechamiento sistemático de información técnica, resultados de experiencias piloto y aprendizajes operativos constituye una oportunidad para fortalecer los procesos de toma de decisiones y ajuste de estrategias en el tiempo. La integración de estos insumos en los procesos institucionales puede contribuir a una adopción más informada, gradual y sostenible de los SPIS.

El reconocimiento de estos aspectos pone de relieve la importancia de avanzar hacia esquemas de coordinación intersectorial, clarificación de roles y generación de condiciones habilitantes que faciliten la integración de los SPIS en las políticas y programas existentes. Estos elementos se desarrollan con mayor detalle en los capítulos siguientes de la Hoja de Ruta.

### **3.5. Barreras de mercado, proveedores y aseguramiento de calidad**

El mercado de soluciones SPIS en Guatemala se encuentra en una etapa incipiente de desarrollo, lo que limita la adopción y el escalamiento de esta tecnología en la agricultura a pequeña escala. Si bien existen componentes solares disponibles en el país, la oferta de soluciones integrales de bombeo solar diseñadas específicamente para riego en pequeña escala y contextos rurales es aún reducida.

La disponibilidad limitada de proveedores con experiencia comprobada en el diseño, instalación y puesta en marcha de SPIS adaptados a condiciones rurales restringe las opciones técnicas disponibles y puede incrementar los riesgos asociados a soluciones inadecuadas o de bajo desempeño. A ello se suma la variabilidad en la calidad de los equipos, los servicios ofrecidos y los criterios de diseño utilizados, en ausencia de referencias técnicas compartidas y mecanismos sistemáticos de aseguramiento de la calidad.

El fortalecimiento de servicios postventa, mantenimiento y soporte técnico constituye una oportunidad clave para mejorar el desempeño de los sistemas y reforzar la confianza de los usuarios en la tecnología, particularmente en zonas rurales alejadas. Asimismo, la disponibilidad limitada de información accesible y comparable sobre costos, desempeño y requerimientos operativos dificulta la toma de decisiones informadas por parte de productores e instituciones.

Estas condiciones ponen de relieve la necesidad de avanzar hacia criterios técnicos comunes, fortalecer capacidades en el sector privado y consolidar mecanismos de aseguramiento de la calidad, como base para una adopción ordenada y sostenible de los SPIS en Guatemala.

### **3.6. Barreras sociales, organizativas y de apropiación tecnológica**

La adopción y el uso sostenible de los SPIS dependen no solo de la disponibilidad de tecnología y financiamiento, sino también de factores sociales, organizativos y de capacidades locales. En la agricultura a pequeña escala en Guatemala, estas dimensiones influyen de manera directa en el desempeño y la sostenibilidad de las soluciones implementadas.

Una barrera relevante es la limitada experiencia previa con tecnologías de riego y bombeo solar en contextos rurales. Para muchos pequeños productores, el riego ha sido inexistente o utilizado de forma puntual y manual, por lo que la introducción de SPIS implica cambios en las prácticas productivas, la gestión del tiempo y la planificación agrícola. Estos cambios requieren procesos de aprendizaje que no siempre cuentan con acompañamiento suficiente.

La capacitación técnica discontinua constituye otra barrera. En numerosos casos, la formación se concentra en la fase de instalación, sin un seguimiento sistemático durante los primeros ciclos de operación. Esta situación limita la apropiación tecnológica, incrementa la dependencia de asistencia externa y eleva el riesgo de fallas operativas o abandono de los sistemas.

El diagnóstico realizado evidencia esfuerzos sostenidos por parte de instituciones públicas, organizaciones de la sociedad civil y la cooperación internacional para fortalecer la participación y las capacidades de mujeres y jóvenes. No obstante, persisten desafíos para asegurar un acceso equitativo y continuo a información, capacitación y espacios de toma de decisiones relacionados con el uso del agua, la operación de los sistemas de riego y la gestión productiva, especialmente en territorios rurales dispersos.

Asimismo, la percepción de riesgo asociada a tecnologías nuevas o poco conocidas influye en la adopción. En contextos de alta vulnerabilidad económica, los pequeños productores tienden a priorizar soluciones de corto plazo y bajo riesgo, lo que puede generar reticencia a invertir en tecnologías que requieren cambios operativos y una inversión inicial.

Finalmente, las formas de organización comunitaria inciden directamente en la adopción y operación de los SPIS. En ausencia de mecanismos claros para la gestión colectiva del agua y de

la infraestructura, pueden surgir dificultades en la asignación de responsabilidades, la operación y el mantenimiento de los sistemas.

Estas barreras ponen de manifiesto que la adopción de SPIS debe abordarse como un proceso técnico, social y organizativo. Su superación requiere fortalecer capacidades locales, asegurar procesos de capacitación y acompañamiento continuos, promover la inclusión y generar confianza en la tecnología, aspectos que se desarrollan en los capítulos siguientes de la Hoja de Ruta

## 4. Visión estratégica y principios rectores para SPIS

La adopción y el escalamiento de SPIS en Guatemala requieren una visión estratégica compartida que permita transformar las barreras técnicas, económicas, institucionales y sociales identificadas en oportunidades de desarrollo rural sostenible. Esta visión reconoce que la agricultura a pequeña escala opera en contextos de alta vulnerabilidad climática, con limitaciones estructurales en el acceso al agua, la energía, el financiamiento y las capacidades técnicas, y que, por lo tanto, las soluciones tecnológicas deben ser integradas, realistas y adaptadas a las condiciones territoriales.

Bajo esta lógica, los SPIS se conciben como componentes habilitantes de sistemas productivos resilientes, y no como soluciones aisladas. Su adopción puede mejorar la previsibilidad del riego, reducir la dependencia de fuentes energéticas volátiles y optimizar el uso del recurso hídrico, particularmente mediante su integración con tecnologías de riego eficiente, como el riego por goteo. La adopción de SPIS se plantea así como un proceso progresivo y basado en aprendizaje, que prioriza la reducción de riesgos, el fortalecimiento de capacidades y la articulación entre actores públicos, privados y territoriales.

Este enfoque se alinea con el nexo agua-energía-alimentos y con los objetivos de adaptación al cambio climático, seguridad alimentaria, equidad de género e inclusión social, y sostenibilidad de los medios de vida rurales. Desde esta perspectiva, los SPIS no se abordan únicamente como una solución energética o hidráulica, sino como una herramienta de política pública y de gestión territorial, orientada a promover el uso eficiente y sostenible del agua, reducir brechas estructurales –incluidas las de género– y que requiere capacidades técnicas, financieras y operativas tanto a nivel local como institucional.

Como consecuencia, la adopción de SPIS no depende únicamente del fortalecimiento de capacidades de los pequeños productores y actores comunitarios, sino también del desarrollo de capacidades dentro de las instituciones públicas responsables de liderar y coordinar el proceso de adopción. Estas capacidades incluyen la gestión de programas SPIS, la administración de fondos y mecanismos de subsidio, la selección y priorización de beneficiarios, la coordinación con instituciones financieras y proveedores tecnológicos, y el aseguramiento de la calidad, el monitoreo y el aprendizaje del proceso.

A nivel territorial, la Hoja de Ruta reconoce la importancia de articular el trabajo de los extensionistas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) con las estructuras comunitarias existentes, incluyendo los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODES), como mecanismos de facilitación social y apoyo operativo. Esta articulación no implica la transferencia de responsabilidades técnicas, sino el aprovechamiento de las capacidades organizativas locales para apoyar procesos de convocatoria, comunicación y acompañamiento comunitario, particularmente en las actividades de capacitación y sensibilización vinculadas a la adopción de SPIS.

### 4.1. Principios rectores de la Hoja de Ruta

Los principios que se presentan a continuación establecen el marco que orienta las decisiones estratégicas y operativas asociadas a la adopción y el escalamiento de SPIS en Guatemala. Para facilitar su aplicación, se organizan en principios estratégicos y principios operativos, que en conjunto guían el diseño, la implementación y el ajuste progresivo de las acciones propuestas.

#### 4.1.1. Principios estratégicos

- **Integración del nexo agua–energía–alimentos:** Los SPIS se conciben como soluciones integradas que articulan el acceso al agua para riego, el uso de energía limpia y la producción de alimentos. Su adopción debe contribuir simultáneamente a mejorar el uso eficiente del agua, reducir la dependencia de fuentes energéticas convencionales y fortalecer la seguridad alimentaria, evitando enfoques sectoriales aislados.
- **Adaptación al cambio climático y reducción del riesgo:** En territorios expuestos a sequías recurrentes y alta variabilidad climática, los SPIS representan una herramienta clave para reducir la vulnerabilidad de la agricultura a pequeña escala y fortalecer la resiliencia productiva a mediano y largo plazo.

#### 4.1.2. Principios operativos

- **Eficiencia y sostenibilidad en el uso del agua:** La adopción de SPIS debe ir acompañada de prácticas y tecnologías que promuevan un uso responsable y eficiente del agua, incluyendo de manera prioritaria el riego por goteo y la gestión sostenible de las fuentes de agua subterránea, con el fin de garantizar la disponibilidad del recurso en el tiempo.
- **Adecuación a las realidades de la agricultura a pequeña escala:** Las soluciones SPIS deben ajustarse a la escala productiva, las capacidades técnicas y las condiciones socioeconómicas de los pequeños productores, privilegiando diseños flexibles, de operación sencilla y compatibles con las formas locales de organización.
- **Enfoque territorial y escalamiento progresivo:** La adopción de SPIS se concibe como un proceso gradual, basado en aprendizaje y validación, que permita escalar la tecnología de manera ordenada y diferenciada según las realidades territoriales del país.
- **Fortalecimiento de capacidades locales e institucionales:** El éxito de los SPIS depende tanto de la apropiación por parte de los usuarios finales como de la capacidad de las instituciones públicas para gestionar el proceso de adopción, incluyendo funciones técnicas, financieras, de coordinación y de aseguramiento de la calidad.
- **Aprendizaje, monitoreo y mejora continua:** El monitoreo sistemático de resultados, la evaluación de experiencias piloto y la incorporación de lecciones aprendidas son elementos fundamentales para ajustar y fortalecer las estrategias de adopción de SPIS a lo largo del tiempo.

## 4.2. Criterios para una adopción sostenible y escalable de SPIS

Los criterios que se presentan a continuación traducen los principios rectores de la Hoja de Ruta en condiciones concretas que deben cumplirse para asegurar que la adopción de SPIS sea viable y sostenible en el tiempo. Para facilitar su aplicación, los criterios se organizan en criterios estratégicos –de carácter estructural e institucional– y criterios operativos, vinculados a la implementación en campo.

#### 4.2.1. Criterios estratégicos

- **Disponibilidad y gestión sostenible de fuentes de agua subterránea:** La adopción de SPIS debe basarse en la existencia de fuentes de agua subterránea con condiciones mínimas de disponibilidad y sostenibilidad. Dado que el proyecto descarta el uso de fuentes

superficiales por razones de contaminación y salud, resulta indispensable contar con información básica de los pozos existentes y promover prácticas que aseguren un uso responsable del agua a mediano y largo plazo.

- **Capacidades institucionales para la gestión del proceso de adopción:** La adopción y el escalamiento de SPIS requieren instituciones públicas con capacidades técnicas, financieras y operativas para diseñar y gestionar programas, administrar fondos y mecanismos de subsidio, definir y aplicar criterios de elegibilidad, coordinar con instituciones financieras y proveedores tecnológicos, y asegurar la calidad, el monitoreo y el aprendizaje del proceso.
- **Viabilidad económica y mecanismos financieros adaptados:** Debe existir un marco financiero que reduzca las barreras de inversión inicial para la agricultura a pequeña escala, incluyendo esquemas de subsidio, cofinanciamiento y financiamiento adaptados a las dinámicas productivas y organizativas locales, así como a esquemas de adopción colectiva y grupos organizados.
- **Articulación interinstitucional y territorial:** La adopción de SPIS requiere coordinación efectiva entre las instituciones vinculadas al agua, la agricultura, la energía, el ambiente y el financiamiento, así como su articulación con actores territoriales, para asegurar coherencia en la implementación y evitar superposiciones o vacíos institucionales.

#### 4.2.2. Criterios operativos

- **Integración obligatoria con tecnologías de riego eficiente:** Para maximizar los beneficios productivos y reducir la presión sobre las fuentes de agua subterránea, los SPIS deben integrarse de manera obligatoria con tecnologías de riego eficiente, particularmente el riego por goteo.
- **Adecuación tecnológica a la escala productiva y al contexto local:** La selección de soluciones SPIS debe responder a la escala de producción, las características de los cultivos, las condiciones de los pozos y las capacidades de operación y mantenimiento de los usuarios. Se deben priorizar soluciones modulares, de operación sencilla y compatibles con las prácticas locales de riego y almacenamiento de agua.
- **Acompañamiento técnico continuo y fortalecimiento de capacidades locales:** La adopción de SPIS debe estar respaldada por procesos de capacitación y acompañamiento técnico continuo que faciliten la apropiación de la tecnología, la resolución de problemas operativos y la sostenibilidad de los sistemas en el tiempo.
- **Enfoque inclusivo y sensible al género:** Los criterios de adopción de SPIS deben incorporar consideraciones de género e inclusión social, reconociendo el rol de las mujeres y de los grupos organizados en la agricultura de pequeña escala. Esto implica adaptar los criterios de elegibilidad, los mecanismos financieros y los procesos de capacitación para asegurar un acceso equitativo a los beneficios de la tecnología.

### 4.3. Rol de los pequeños productores y del territorio

La adopción de SPIS se concibe como un proceso centrado en los pequeños productores y condicionado por el territorio en el que se implementa. Los pequeños productores son actores clave en la toma de decisiones, la operación de los sistemas y la sostenibilidad de las intervenciones en el tiempo.

Las condiciones territoriales —incluyendo la disponibilidad y el comportamiento de las fuentes de agua subterránea, las características agroclimáticas y las dinámicas organizativas locales— influyen de manera directa en la viabilidad técnica, económica y social de los SPIS. Por ello, la Hoja de Ruta evita enfoques homogéneos y promueve soluciones adaptadas al contexto local.

#### 4.4. Enfoque de género e inclusión social

La Hoja de Ruta incorpora el enfoque de género e inclusión social como un criterio estructural de diseño para la adopción sostenible y escalable de SPIS en la agricultura a pequeña escala, reconociendo que las desigualdades en el acceso a recursos productivos, financiamiento, capacitación y toma de decisiones influyen directamente en la viabilidad y sostenibilidad de las intervenciones.

En numerosos territorios rurales, una parte significativa de la agricultura a pequeña escala se sustenta en grupos de mujeres organizadas, que participan activamente en la producción de alimentos, la gestión del agua y la seguridad alimentaria a nivel de hogar y comunidad. No obstante, estas formas de organización enfrentan barreras específicas para la adopción de tecnologías como los SPIS, particularmente en lo relativo al acceso a mecanismos formales de financiamiento y a esquemas de apoyo cuando no cuentan con personería jurídica, aun cuando dispongan de capacidades productivas y trayectorias organizativas consolidadas.

En este contexto, la Hoja de Ruta reconoce el rol estratégico de los Centros de Aprendizaje para el Desarrollo Rural (CADER) como plataformas territoriales clave para operacionalizar el enfoque de género e inclusión social. A través de los CADER, es posible facilitar procesos de capacitación, acompañamiento técnico y aprendizaje continuo que promuevan la participación efectiva de mujeres y grupos organizados en la adopción, operación y gestión de SPIS.

El enfoque de género se vincula de manera directa con los objetivos de seguridad alimentaria y nutrición, dado el rol central de las mujeres en la producción para autoconsumo, la diversificación de cultivos y la gestión de la dieta a nivel de hogar. La adopción de SPIS con un enfoque inclusivo tiene el potencial de fortalecer estos resultados, siempre que se asegure un acceso equitativo a los beneficios de la tecnología y a los procesos de toma de decisiones asociados.

En consecuencia, los programas de adopción de SPIS deberán:

- incorporar criterios de elegibilidad y priorización sensibles al género, incluyendo esquemas colectivos y organizaciones de mujeres;
- adaptar mecanismos financieros y de subsidio que reduzcan barreras de acceso, considerando alternativas de garantía y procesos de formalización progresiva;
- asegurar procesos de capacitación y acompañamiento técnico accesibles y pertinentes, incluyendo aquellos canalizados a través de los CADER;
- promover la participación de mujeres en la operación, el mantenimiento y la toma de decisiones sobre los SPIS;
- integrar indicadores de monitoreo y evaluación desagregados por género y tipo de organización.

La incorporación efectiva de este enfoque requiere, asimismo, el fortalecimiento de capacidades institucionales para diseñar, implementar y monitorear programas SPIS sensibles al género, asegurando que la adopción del riego solar contribuya de manera efectiva a la reducción de

brechas, al fortalecimiento de la resiliencia climática y a la sostenibilidad de los medios de vida rurales.

## 5. Marco habilitante para la adopción sostenible de SPIS

La adopción sostenible y el escalamiento progresivo de SPIS en Guatemala requieren la existencia de un marco habilitante sólido, que articule condiciones institucionales, técnicas, de mercado y de capacidades de manera coherente. Más allá de la viabilidad tecnológica, la experiencia muestra que la adopción efectiva de SPIS depende de la capacidad de los actores públicos y privados para coordinarse, definir reglas claras y acompañar los procesos de adopción en el territorio.

Este capítulo no define aún acciones temporales ni mecanismos financieros específicos —los cuales se desarrollan en capítulos posteriores—, sino que establece las condiciones necesarias para que la Hoja de Ruta pueda implementarse de manera ordenada, sostenible y escalable.

### 5.1. Gobernanza, marco normativo y roles institucionales para la adopción de SPIS

La adopción y el escalamiento de los SPIS en Guatemala requieren un arreglo de gobernanza claro y funcional, que permita articular de manera coherente los ámbitos de agricultura, ambiente, energía, financiamiento y desarrollo territorial. Dada su naturaleza intersectorial, la definición de roles institucionales complementarios y la coordinación efectiva entre actores públicos, privados y territoriales constituyen condiciones habilitantes fundamentales para su implementación a escala.

#### 5.1.1. Alineación con el marco normativo y de políticas públicas en Guatemala

La adopción de los SPIS se encuentra alineada con el marco vigente de políticas públicas en Guatemala, particularmente en los ámbitos de gestión sostenible de los recursos naturales, uso eficiente del agua, desarrollo rural, seguridad alimentaria, adaptación al cambio climático y financiamiento sostenible. En este sentido, la Hoja de Ruta se articula con los lineamientos nacionales que promueven prácticas productivas resilientes, el aprovechamiento de energías renovables, la protección de la salud pública y la focalización social de la inversión pública en territorios rurales con alta vulnerabilidad climática.

El enfoque adoptado prioriza el uso eficiente y responsable del agua con fines productivos, la protección de fuentes de abastecimiento —particularmente subterráneas— y la reducción de riesgos sanitarios asociados a la contaminación de fuentes superficiales, en coherencia con los principios nacionales de sostenibilidad ambiental y bienestar comunitario. Asimismo, la Hoja de Ruta es consistente con los criterios establecidos en el Marco de Finanzas Sostenibles de la República de Guatemala, lo que permite vincular la adopción de SPIS con instrumentos de financiamiento público y mecanismos de apoyo orientados a poblaciones rurales en situación de pobreza y vulnerabilidad.

El enfoque territorial y culturalmente pertinente del proyecto es, además, coherente con los principios de reconocimiento, participación y fortalecimiento de los pueblos indígenas.

### Recuadro 2. Alineación con el Marco Nacional



#### Cumple con las categorías de elegibilidad definidas por el Ministerio de Finanzas Públicas.

- Basado en el Marco de Financiación Sostenible de la República de Guatemala (2024)



#### Población objetivo

- Comunidades rurales desatendidas
- Hogares en situación de pobreza
- Pueblos indígenas y comunidades rurales en situación de vulnerabilidad



#### Alineación temática

Gestión de los recursos naturales y del uso del suelo

- prácticas agrícolas sostenibles
- tecnologías de riego de alta eficiencia en el uso de agua
- Producción agrícola de bajo impacto ambiental

#### Adaptación al cambio climático

→ Refuerza la resiliencia ante la sequía y los fenómenos extremos

**Seguridad alimentaria y sistemas alimentarios sostenibles** → mejora el acceso al agua para la producción de alimentos

### Recuadro 3. Marco vigente de políticas públicas y lineamientos estratégicos de Guatemala

- Política Nacional de Cambio Climático de Guatemala
- Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Guatemala ante la CMNUCC
- Política Nacional de Desarrollo Rural Integral (PNDRI)
- Lineamientos y programas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) para la agricultura a pequeña escala y los servicios de extensión agrícola, incluido el modelo de Centros de Aprendizaje para el Desarrollo Rural (CADER)
- Política Energética Nacional y lineamientos para la promoción de energías renovables
- Marco de Finanzas Sostenibles de la República de Guatemala, Ministerio de Finanzas Públicas
- Acuerdo sobre Identidad y Derechos de los Pueblos Indígenas y Convenio 169 de la OIT

*Los instrumentos listados se presentan con fines referenciales y estratégicos, como marco de alineación para la Hoja de Ruta. Su inclusión no implica una interpretación jurídica, jerarquización normativa ni asignación formal de competencias institucionales*

## **5.1.2. Roles institucionales clave**

### **5.1.2.1. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales**

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) desempeña un rol estratégico en la articulación del enfoque de adaptación al cambio climático y en la integración de criterios ambientales y de sostenibilidad en la adopción de los SPIS.

En el marco de esta Hoja de Ruta, el MARN actúa como facilitador institucional del proceso de adopción de SPIS, apoyando la coordinación interinstitucional y promoviendo la incorporación de criterios de uso eficiente del agua, protección ambiental y resiliencia climática en los programas públicos orientados a su implementación. Este rol incluye el fortalecimiento de capacidades a nivel institucional y territorial, así como la articulación con instrumentos de política, planificación y financiamiento vinculados al desarrollo rural sostenible.

Asimismo, el MARN contribuye a asegurar que la adopción de SPIS se implemente de manera coherente con los principios de prevención de riesgos sanitarios y sostenibilidad de las fuentes de agua, particularmente subterráneas, favoreciendo soluciones con beneficios ambientales, sociales y productivos a mediano y largo plazo.

### **5.1.2.2. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación**

El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) es el actor central para la implementación territorial de los SPIS, en tanto responsable de las políticas, programas productivos y servicios de extensión agrícola dirigidos a la agricultura a pequeña escala. Su rol incluye la integración del riego solar en programas y estrategias existentes, la identificación y priorización de beneficiarios, la capacitación técnica y el acompañamiento durante los procesos de adopción, así como la articulación con tecnologías de riego eficiente, particularmente el riego por goteo.

A través de sus servicios de extensión agrícola y de los CADER, el MAGA cumple una función clave en la apropiación tecnológica, el fortalecimiento de capacidades locales y la sostenibilidad de las intervenciones en el territorio. Estos espacios permiten facilitar procesos de capacitación práctica, intercambio de experiencias y acompañamiento continuo a los pequeños productores durante la implementación y operación de los SPIS.

Asimismo, el MAGA desempeña un rol estratégico en la articulación de sinergias con proyectos y programas nacionales relevantes, así como con iniciativas de la cooperación internacional vinculadas a agricultura sostenible, riego, seguridad alimentaria, nutrición y adaptación al cambio climático, contribuyendo a maximizar impactos y fortalecer la coherencia del proceso de adopción de SPIS a escala nacional.

### **5.1.2.3. Otras instituciones públicas y actores sectoriales**

La adopción y el escalamiento de los SPIS requieren un enfoque de coordinación ampliada que involucre a otras instituciones públicas con competencias complementarias en los ámbitos de energía, desarrollo social, financiamiento, planificación y ejecución de inversión pública, así como a actores sectoriales relevantes que inciden en el desarrollo rural y la sostenibilidad productiva.

La Hoja de Ruta enfatiza la necesidad de mecanismos efectivos de coordinación interinstitucional y multisectorial que permitan alinear criterios técnicos, sociales y financieros, facilitar la complementariedad entre programas existentes y evitar enfoques fragmentados o superposiciones de esfuerzos a nivel nacional y territorial.

Asimismo, se reconoce el rol estratégico de la academia, los centros de investigación y las instituciones de formación técnica en la generación de evidencia, la adaptación de soluciones tecnológicas a los contextos agroecológicos del país, el fortalecimiento de capacidades y la sistematización de aprendizajes derivados de la implementación. Su participación contribuye a mejorar la calidad técnica de las intervenciones y a fortalecer los procesos de innovación, evaluación y mejora continua asociados al programa de adopción de SPIS.

#### Recuadro 4. Instituciones públicas y actores relevantes para la adopción de SPIS en Guatemala

A partir del análisis institucional y de los procesos de coordinación interinstitucional desarrollados en el proyecto, se identifican actores públicos y sectoriales con potencial para contribuir a la adopción de SPIS, cuya participación dependerá del diseño programático, los instrumentos de financiamiento y las prioridades territoriales.

##### **Instituciones del sector público**

- Entidades con competencias en agricultura, ambiente y recursos naturales
- Instituciones vinculadas a energía y electrificación rural
- Entidades responsables de planificación, inversión pública y financiamiento
- Instituciones con mandato en desarrollo social, seguridad alimentaria y nutrición

##### **Actores territoriales y de extensión**

- Servicios de extensión agrícola y estructuras territoriales de apoyo
- Centros de capacitación y aprendizaje rural
- Gobiernos locales y estructuras comunitarias de coordinación

##### **Actores financieros**

- Cooperativas de ahorro y crédito
- Instituciones financieras rurales
- Programas públicos de financiamiento productivo

##### **Actores del sector privado y cooperación**

- Proveedores de tecnología y servicios SPIS
- Organizaciones de cooperación internacional con programas en agricultura, riego, energía y adaptación al cambio climático

##### **Academia y centros de investigación**

- Universidades y centros de educación superior con programas en agricultura, recursos hídricos, energía y desarrollo rural
- Centros de investigación y formación técnica vinculados a riego, energías renovables y adaptación al cambio climático

*Este recuadro se presenta con fines referenciales y orientativos, y no implica una asignación formal de responsabilidades ni una lista exhaustiva de actores*

### **5.1.3. Rol de los actores territoriales y gobernanza operativa**

A nivel territorial, la gobernanza operativa de los SPIS se sustenta en la coordinación entre los servicios de extensión agrícola y las estructuras comunitarias existentes, incluyendo los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODES) y otras formas de organización local. Estas estructuras cumplen un rol de facilitación social y legitimidad comunitaria, apoyando procesos de convocatoria, comunicación y acompañamiento a las actividades de capacitación y sensibilización.

La Hoja de Ruta subraya que la participación de los actores territoriales no implica la transferencia de responsabilidades técnicas, financieras ni de gestión de los sistemas, sino el aprovechamiento de sus capacidades organizativas para favorecer la apropiación social de las soluciones SPIS y su adaptación a las dinámicas locales.

Una gobernanza territorial bien estructurada contribuye a reducir riesgos sociales y operativos, fortalecer la confianza entre actores y facilitar la integración de los SPIS en los sistemas productivos locales, constituyéndose en un elemento habilitante para su sostenibilidad y escalamiento.

### **5.1.4. Rol del sector privado y aseguramiento de la calidad (enfoque de gobernanza)**

El sector privado cumple un rol clave en la adopción y el escalamiento de los SPIS como proveedor de soluciones tecnológicas y servicios asociados. Desde una perspectiva de gobernanza, su participación debe enmarcarse en reglas claras y criterios compartidos que garanticen la calidad de las soluciones implementadas y protejan a los usuarios finales.

La Hoja de Ruta destaca que el aseguramiento de la calidad requiere un marco institucional que establezca criterios mínimos de desempeño y buenas prácticas para los proveedores que participen en programas públicos o esquemas de apoyo vinculados a SPIS, contribuyendo a reducir riesgos de implementación y pérdida de confianza en la tecnología.

Asimismo, se promueven relaciones transparentes entre instituciones públicas, proveedores y usuarios, con una delimitación clara de funciones que evite conflictos de interés y fortalezca la credibilidad del programa. Desde esta perspectiva, el rol del sector privado se concibe como complementario al liderazgo público, contribuyendo a la innovación y escalabilidad de las soluciones en coherencia con los objetivos de sostenibilidad y uso eficiente del agua de esta Hoja de Ruta.

### **5.1.5. Coordinación, aprendizaje y ajuste institucional**

La gobernanza para la adopción y el escalamiento de los SPIS debe incorporar mecanismos que permitan el aprendizaje institucional y el ajuste progresivo de enfoques, criterios y procedimientos a partir de la experiencia acumulada durante la implementación. En contextos de alta incertidumbre climática, heterogeneidad territorial y diversidad de actores, la capacidad de aprender y adaptarse constituye una condición habilitante tan relevante como la definición inicial de roles y arreglos institucionales.

Desde esta perspectiva, la Hoja de Ruta plantea la necesidad de contar con espacios y procesos que faciliten el seguimiento de la implementación, el intercambio sistemático de información entre actores públicos, territoriales y privados, y la retroalimentación continua sobre el desempeño técnico, operativo e institucional de las intervenciones. Estos mecanismos permiten identificar oportunamente ajustes necesarios en los criterios de adopción, en los esquemas de coordinación

y en los instrumentos de apoyo, reduciendo riesgos y mejorando la efectividad del proceso de escalamiento.

La coordinación y el aprendizaje institucional no se conciben como estructuras adicionales o paralelas, sino como funciones integradas a los mandatos existentes de las instituciones responsables, reforzando su capacidad de gestión y toma de decisiones. En este sentido, el fortalecimiento de capacidades para la sistematización de experiencias, la evaluación de resultados y la incorporación de lecciones derivadas de proyectos piloto y programas en ejecución resulta clave para consolidar un proceso de adopción de SPIS ordenado, progresivo y sostenible.

Este enfoque de mejora continua contribuye a que la Hoja de Ruta se mantenga como un instrumento vivo, capaz de adaptarse a cambios en el contexto institucional, territorial y climático, y de orientar de manera más efectiva las decisiones de política pública y programación futura asociadas a la adopción del riego solar en Guatemala.

## 5.2. Integración de SPIS en políticas, programas y extensión agrícola

La adopción sostenible y el escalamiento de los SPIS en Guatemala requieren que esta tecnología se integre de manera explícita en las políticas públicas, los programas sectoriales y los servicios de extensión agrícola existentes, evitando su implementación como intervenciones aisladas. Esta integración es clave para asegurar coherencia institucional, optimizar el uso de recursos públicos y fortalecer la sostenibilidad de los resultados en el tiempo.

Desde esta perspectiva, la Hoja de Ruta plantea que los SPIS se incorporen como componentes habilitantes dentro de las estrategias de desarrollo rural, adaptación al cambio climático, seguridad alimentaria y fortalecimiento productivo, particularmente aquellas orientadas a la agricultura a pequeña escala en territorios de alta vulnerabilidad climática.

### 5.2.1. Integración programática y alineación con instrumentos existentes

La Hoja de Ruta propone que los SPIS se integren en programas y políticas públicas ya en operación, de modo que contribuyan simultáneamente a:

- fortalecer la producción agrícola a pequeña escala;
- reducir la vulnerabilidad frente a la variabilidad climática;
- mejorar la seguridad alimentaria y nutricional;
- y promover el uso eficiente y sostenible del agua con fines productivos.

Esta integración facilita la alineación de criterios técnicos y territoriales, el aprovechamiento de mecanismos existentes de focalización y seguimiento, y la reducción de duplicidades institucionales, favoreciendo una adopción progresiva y sostenible del riego solar.

### 5.2.2. Rol de los servicios de extensión agrícola en la adopción de SPIS

Los servicios de extensión agrícola constituyen un canal clave para la adopción progresiva de los SPIS, al facilitar la traducción de las políticas públicas en acciones concretas a nivel territorial. Se reconoce que la adopción del riego solar implica cambios técnicos y productivos que requieren acompañamiento, especialmente en contextos de alta vulnerabilidad climática.

En este marco, los servicios de extensión —incluidos los CADER, entre otros mecanismos territoriales— cumplen funciones esenciales relacionadas con la identificación de beneficiarios, la capacitación práctica en uso eficiente del agua y riego por goteo, el acompañamiento inicial durante la operación de los sistemas y la articulación entre productores, instituciones públicas y proveedores tecnológicos.

Este rol se concibe como facilitador y articulador, sin requerir que los extensionistas asuman funciones especializadas en diseño o instalación de SPIS, sino que cuenten con criterios básicos y mecanismos de referencia adecuados.

### **5.2.3. Uso estratégico de herramientas digitales y comunicación para la extensión**

El aumento de la conectividad digital en zonas rurales abre oportunidades para fortalecer la adopción de los SPIS mediante herramientas de comunicación y gestión de información que apoyen la toma de decisiones productivas y la gestión del riesgo climático.

Estas herramientas pueden contribuir a mejorar la difusión de información climática y agronómica, facilitar la comunicación continua entre extensionistas y productores, y apoyar el monitoreo básico de prácticas de riego y uso del agua. Asimismo, la articulación con soluciones desarrolladas por actores del ecosistema de innovación local puede reforzar la capacidad de respuesta de los servicios de extensión y mejorar la pertinencia territorial de las recomendaciones técnicas.

### **5.2.4. Enfoque territorial y adopción progresiva**

La Hoja de Ruta enfatiza que la integración de los SPIS en políticas y programas debe realizarse de manera gradual y diferenciada, reconociendo la diversidad de condiciones agroclimáticas, institucionales y organizativas del país.

La adopción debe priorizar territorios donde existan condiciones mínimas habilitantes —como disponibilidad de agua subterránea y presencia de servicios de extensión activos— y avanzar progresivamente hacia contextos más complejos a partir del aprendizaje acumulado. Este enfoque contribuye a reducir riesgos de implementación y facilita un escalamiento ordenado y sostenible de la tecnología en el marco de políticas y programas públicos existentes.

## **5.3. Lineamientos técnicos, estandarización y control de calidad**

La adopción sostenible y el escalamiento de los SPIS en Guatemala requieren que las soluciones implementadas cumplan con condiciones técnicas mínimas de calidad, adecuación y confiabilidad. Más allá de la disponibilidad de financiamiento o de la existencia de arreglos institucionales adecuados, la experiencia acumulada en contextos rurales muestra que diseños inadecuados, equipos de baja calidad o la ausencia de criterios técnicos compartidos pueden comprometer la sostenibilidad de las intervenciones y la confianza de los usuarios en la tecnología.

En este contexto, la Hoja de Ruta enfatiza la necesidad de contar con lineamientos técnicos orientadores, referencias técnicas compartidas y mecanismos básicos de control de calidad, que permitan reducir riesgos de implementación, proteger a los usuarios finales y asegurar que los SPIS contribuyan efectivamente al uso eficiente del agua y a la resiliencia productiva.

### 5.3.1. Principios técnicos orientadores para el diseño de SPIS

Los SPIS promovidos en el marco de esta Hoja de Ruta deben diseñarse conforme a principios técnicos coherentes con las condiciones de la agricultura a pequeña escala y con las limitaciones reales del territorio, con el objetivo de reducir riesgos de implementación y asegurar su sostenibilidad en el tiempo.

En particular, los SPIS deben considerar:

- Adecuación del diseño a la disponibilidad efectiva de agua subterránea, en función de las condiciones reales de los pozos existentes.
- Integración prioritaria con tecnologías de riego de alta eficiencia, particularmente el riego por goteo.
- Dimensionamiento conservador y modular, que permita una operación flexible y ajustes progresivos conforme se consolida el uso del sistema.
- Selección de soluciones tecnológicas simples y robustas, compatibles con las capacidades de operación y mantenimiento de los pequeños productores.
- Posibilidad de integración con esquemas híbridos o conexión a la red eléctrica como respaldo operativo, cuando las condiciones del pozo o necesidades críticas de riego lo justifiquen, manteniendo la priorización de la energía solar como fuente principal.

Estos principios orientadores permiten evitar diseños inadecuados o desconectados de la realidad productiva y constituyen una base común para la adopción sostenible y el escalamiento de los SPIS.

### 5.3.2. Criterios técnicos y referencia de calidad

La adopción de SPIS a mayor escala requiere avanzar hacia criterios técnicos comunes que sirvan como referencia para el diseño, la selección tecnológica y la supervisión de los sistemas, particularmente en el marco de programas públicos. Estos criterios no constituyen normas obligatorias ni manuales técnicos, sino referencias mínimas que orientan la toma de decisiones y facilitan la coherencia entre intervenciones.

Dichos criterios deben permitir verificar la coherencia entre la fuente de agua, el sistema de riego y el bombeo; la adecuación de la solución a la escala productiva; la compatibilidad entre componentes; y la consideración de requerimientos básicos de operación y mantenimiento.

Contar con estos referentes técnicos contribuye a reducir la variabilidad en la calidad de las soluciones implementadas, facilita el fortalecimiento de capacidades locales y permite generar aprendizajes acumulativos. Asimismo, crea condiciones para una adopción progresiva y escalable de los SPIS, sin limitar su adaptación a contextos territoriales diversos.

### 5.3.3. Aseguramiento de la calidad y gestión de riesgos técnicos

El aseguramiento de la calidad constituye un componente central del marco habilitante para la adopción de los SPIS. La Hoja de Ruta plantea que los mecanismos de control de calidad deben enfocarse en reducir riesgos técnicos críticos, más que en generar procesos administrativos complejos o excesivamente normativos.

De manera orientativa, estos mecanismos pueden considerar:

- la verificación del diseño técnico previo a la instalación, con énfasis en las características de la fuente de agua, la demanda de agua y la integración con tecnologías de riego eficiente;
- una supervisión básica durante la instalación y puesta en marcha del sistema;
- un seguimiento inicial de la operación, orientado a identificar fallas tempranas y realizar ajustes necesarios.

Estos mecanismos contribuyen a proteger la inversión pública y privada, mejorar el desempeño de los sistemas y fortalecer la sostenibilidad técnica de las intervenciones.

#### **5.3.4. Vinculación entre lineamientos técnicos y fortalecimiento del mercado SPIS**

La definición de lineamientos técnicos y criterios de referencia de calidad cumple una función estratégica en el fortalecimiento del mercado de soluciones SPIS. Al establecer expectativas técnicas claras y compartidas, se reducen los riesgos de implementación y se crean condiciones más previsibles para la participación del sector privado.

Estos lineamientos operan como un marco común de referencia para instituciones públicas, proveedores y usuarios, facilitando la comparación de soluciones, la transparencia en los procesos de selección y la mejora progresiva de las capacidades técnicas del mercado. De este modo, se incentiva la participación de proveedores con experiencia comprobada y se desalienta la oferta de soluciones de baja calidad o inadecuadas para la agricultura a pequeña escala.

El fortalecimiento del mercado SPIS no se limita a la provisión de equipos, sino que incorpora la disponibilidad de servicios asociados —como capacitación básica, soporte técnico y acompañamiento post-instalación—, fundamentales para asegurar el desempeño adecuado de los sistemas y consolidar la confianza de los usuarios en la tecnología.

En conjunto, la articulación entre lineamientos técnicos y mercado contribuye a un entorno más competitivo, confiable y orientado a la calidad, sin restringir la innovación ni la adaptación tecnológica a los distintos contextos territoriales.

#### **5.3.5. Enfoque adaptativo y mejora continua de los lineamientos técnicos**

La Hoja de Ruta reconoce que los lineamientos técnicos y los criterios de referencia deben concebirse como elementos dinámicos, sujetos a ajustes progresivos en función de la experiencia acumulada durante la implementación de proyectos y programas de adopción de SPIS.

Este enfoque adaptativo requiere el fortalecimiento de capacidades técnicas dentro de las instituciones públicas responsables de la planificación, supervisión y acompañamiento de los sistemas, en particular en lo relativo a la evaluación básica de diseños, el seguimiento del desempeño y la sistematización de experiencias.

La incorporación sistemática de aprendizajes permite ajustar criterios técnicos, mejorar la calidad de las soluciones y reforzar la sostenibilidad de los SPIS en el tiempo. De este modo, el aprendizaje acumulado se traduce en un escalamiento más informado, contextualizado y coherente con la diversidad territorial y las capacidades institucionales del país.

## 5.4. Desarrollo de capacidades locales y acompañamiento técnico

El desarrollo de capacidades técnicas, organizativas e institucionales constituye una condición habilitante para asegurar la implementación efectiva, la operación sostenida y la escalabilidad de los SPIS en la agricultura a pequeña escala. En esta Hoja de Ruta, el fortalecimiento de capacidades se entiende como un proceso progresivo y continuo, orientado a reducir riesgos operativos, consolidar aprendizajes y sostener los beneficios de la tecnología en el tiempo.

Este proceso debe abordarse de manera diferenciada, de acuerdo con los roles y responsabilidades de los distintos actores involucrados, incluyendo pequeños productores, organizaciones comunitarias, servicios de extensión agrícola e instituciones públicas responsables de la gestión y coordinación del proceso.

### 5.4.1. Capacidades de los pequeños productores y actores comunitarios

A nivel de los pequeños productores y las organizaciones comunitarias, el desarrollo de capacidades se orienta a asegurar el uso adecuado y sostenido de los SPIS dentro de las prácticas productivas cotidianas. Esto implica fortalecer, como mínimo:

- conocimientos funcionales sobre el funcionamiento de los sistemas de bombeo solar y su integración con tecnologías de riego eficiente;
- habilidades prácticas para la operación y el mantenimiento básico;
- criterios para el uso eficiente del agua y la programación del riego en función de los cultivos;
- capacidades organizativas para la gestión colectiva del agua y de la infraestructura, cuando los sistemas sean compartidos.

Los procesos de capacitación deben ser prácticos, contextualizados y adaptados al territorio, evitando enfoques puntuales o exclusivamente teóricos. El acompañamiento durante las fases iniciales de operación resulta clave para consolidar prácticas adecuadas y prevenir fallas que comprometan la sostenibilidad de los sistemas.

### 5.4.2. Rol de los servicios de extensión agrícola y del modelo CADER

Los servicios de extensión agrícola constituyen el principal vínculo operativo entre la tecnología y los productores. En este contexto, el modelo de CADER se identifica como una plataforma estratégica para integrar los SPIS y el riego eficiente en los procesos regulares de capacitación y acompañamiento productivo.

El fortalecimiento de capacidades de los extensionistas es una condición clave para una adopción efectiva y escalable de los SPIS. Estas capacidades deben permitirles:

- comprender los principios básicos de los SPIS y su articulación con riego por goteo;
- acompañar a los productores durante las distintas fases de adopción;
- identificar y canalizar oportunamente problemas operativos;
- integrar el uso de los SPIS en la planificación productiva y el manejo de cultivos.

Este enfoque contribuye a reducir la dependencia de asistencia técnica externa y a consolidar procesos de adopción anclados en el territorio.

### 5.4.3. Capacidades institucionales para la gestión del proceso de adopción

La adopción y el escalamiento de los SPIS requieren instituciones públicas con capacidades suficientes para gestionar el proceso de manera integral. Estas capacidades incluyen:

- el diseño y la administración de programas de adopción de SPIS;
- la definición y aplicación de criterios técnicos, sociales y territoriales para la selección y priorización de beneficiarios;
- la gestión de fondos, subsidios y esquemas de cofinanciamiento;
- la coordinación con instituciones financieras, proveedores tecnológicos y actores territoriales;
- el monitoreo de resultados y la sistematización de aprendizajes.

El fortalecimiento de estas capacidades adquiere especial relevancia en las fases de escalamiento programático, donde aumentan la complejidad operativa y los requerimientos de coordinación y seguimiento.

### 5.4.4. Acompañamiento técnico y aprendizaje continuo

El acompañamiento técnico constituye un elemento crítico para reducir riesgos y asegurar la sostenibilidad de los SPIS. Este acompañamiento debe extenderse más allá de la instalación, abarcando los primeros ciclos productivos, cuando se consolidan las prácticas de operación, mantenimiento y uso del agua.

De manera complementaria, el acompañamiento técnico debe vincularse con mecanismos de aprendizaje continuo orientados a:

- identificar fallas recurrentes y buenas prácticas;
- ajustar criterios técnicos y operativos;
- retroalimentar los procesos de capacitación y estandarización;
- fortalecer la toma de decisiones a nivel institucional.

Este enfoque permite mejorar de forma progresiva las estrategias de adopción y escalamiento de los SPIS, reforzando su sostenibilidad técnica, económica y social.

### 5.4.5. Uso de información agroclimática para la toma de decisiones productivas

La experiencia del proyecto evidencia que los efectos del cambio climático ya se manifiestan de manera concreta en la agricultura a pequeña escala, a través de alteraciones en los calendarios de siembra, mayor variabilidad en los ciclos productivos y pérdidas recurrentes asociadas a eventos climáticos extremos.

En este contexto, el fortalecimiento de capacidades no debe limitarse a aspectos operativos de los SPIS, sino que debe incorporar el uso de información agroclimática oportuna y comprensible como insumo para la toma de decisiones productivas. El acceso a información básica sobre condiciones climáticas, tendencias estacionales y requerimientos hídricos de los cultivos contribuye a mejorar la programación del riego, la definición de fechas de siembra y la reducción de riesgos productivos.

Los servicios de extensión agrícola del MAGA desempeñan un rol clave como puente entre la información climática y las decisiones de los pequeños productores en territorio. En este sentido,

el uso de herramientas de monitoreo agroclimático de bajo costo y adaptadas a la pequeña escala —incluyendo soluciones desarrolladas por actores del ecosistema de innovación local, como SINTROP.IA— puede fortalecer la capacidad de los extensionistas para brindar recomendaciones oportunas y contextualizadas.

#### **5.4.6. Comunicaciones digitales como complemento al acompañamiento técnico**

El uso estratégico de herramientas de comunicación digital puede fortalecer el acompañamiento técnico y el desarrollo de capacidades para la adopción de SPIS, en un contexto de creciente acceso a telefonía móvil e internet en territorios rurales. Estas herramientas permiten mejorar la oportunidad y continuidad de las interacciones entre pequeños productores y servicios de extensión, sin sustituir el acompañamiento presencial.

Para los pequeños productores, las comunicaciones digitales facilitan el acceso oportuno a recomendaciones prácticas sobre programación del riego, tiempos de siembra, manejo de cultivos y respuesta a eventos climáticos. Para los servicios de extensión agrícola, permiten mantener un contacto más frecuente y directo con los pequeños productores, reforzando la capacidad de brindar orientación técnica ajustada a las condiciones reales del territorio.

Desde una perspectiva programática, estas herramientas también pueden apoyar el seguimiento formal del programa de adopción de SPIS, mediante la recopilación sistemática de información básica. Este seguimiento se concibe como un proceso sencillo, proporcional a la pequeña escala y sin generar cargas excesivas para los pequeños productores, orientado a la gestión y al aprendizaje institucional.

### **5.5. Rol del sector privado y fortalecimiento del mercado SPIS**

Como se ha señalado en las secciones anteriores, la adopción y el escalamiento sostenible de los SPIS requieren no solo capacidades institucionales y lineamientos técnicos claros, sino también la existencia de un mercado funcional, confiable y técnicamente competente. En este marco, el sector privado desempeña un rol clave como proveedor de tecnologías y servicios, cuya participación resulta indispensable para llevar las soluciones de riego solar a escala en la agricultura a pequeña escala.

La Hoja de Ruta reconoce que el fortalecimiento del mercado SPIS no se limita a la disponibilidad de equipos, sino que depende de la calidad de los servicios asociados, de la experiencia técnica de los proveedores y de la existencia de reglas claras que orienten su participación en programas públicos y esquemas de apoyo. En este sentido, la participación del sector privado debe enmarcarse en criterios compartidos que prioricen la idoneidad técnica, la sostenibilidad de las soluciones y la protección de los usuarios finales.

Desde una perspectiva estratégica, el fortalecimiento del mercado SPIS implica promover la participación de proveedores con experiencia comprobada en aplicaciones de riego para la agricultura a pequeña escala, capaces de adaptar diseños a las condiciones reales del territorio, integrar tecnologías de riego eficiente y ofrecer un nivel básico de acompañamiento post-instalación. Estas condiciones contribuyen a reducir riesgos de implementación, mejorar el desempeño de los sistemas y fortalecer la confianza en la tecnología.

Asimismo, la Hoja de Ruta resalta la importancia de promover relaciones claras y transparentes entre instituciones públicas, proveedores tecnológicos y productores, que favorezcan la calidad técnica, la sostenibilidad de las soluciones y la confianza entre los actores involucrados. Una delimitación adecuada de funciones entre la definición de criterios, la supervisión y la provisión de tecnología contribuye a crear un entorno de mercado más ordenado, predecible y favorable para el escalamiento de los SPIS.

Finalmente, el rol del sector privado se concibe como complementario al liderazgo público, en un esquema en el que las instituciones establecen los marcos, criterios y mecanismos de apoyo, y el sector privado aporta capacidad técnica, eficiencia operativa e innovación. Esta articulación permite consolidar un mercado de soluciones SPIS más maduro y orientado a la calidad, capaz de acompañar un proceso de adopción progresiva y escalable en la agricultura a pequeña escala en Guatemala.

## 6. El rol de los proyectos piloto en la adopción de SPIS

Los proyectos piloto desempeñan un papel estratégico en la adopción progresiva de SPIS, al permitir validar enfoques técnicos, operativos e institucionales en condiciones reales antes de avanzar hacia esquemas de mayor escala. En el contexto de la agricultura a pequeña escala y de alta vulnerabilidad climática, los pilotos constituyen un mecanismo clave para reducir incertidumbres, generar evidencia aplicada y fortalecer la toma de decisiones.

En esta Hoja de Ruta, los proyectos piloto no se conciben como intervenciones aisladas ni como soluciones definitivas, sino como instrumentos habilitantes dentro de un proceso de adopción gradual. Su función principal es apoyar el aprendizaje, la reducción de riesgos y la construcción de capacidades, sentando las bases para una implementación ordenada y sostenible de los SPIS.

### 6.1. Función estratégica de los pilotos como instrumentos habilitantes

Desde esta perspectiva, los pilotos se conciben como plataformas de aprendizaje estructurado, cuya evidencia y lecciones informan directamente la definición de criterios de selección, el alcance y las limitaciones del enfoque piloto, desarrollados en la siguiente sección.

Desde una perspectiva estratégica, los proyectos piloto permiten poner a prueba supuestos clave sobre la viabilidad técnica, productiva y operativa de los SPIS en contextos reales. A diferencia de ejercicios de planificación o diseño conceptual, los pilotos revelan interacciones prácticas entre la tecnología, el territorio y los actores involucrados en su adopción.

Asimismo, los pilotos facilitan la validación de criterios técnicos, modelos de acompañamiento y arreglos institucionales, contribuyendo a ajustar los enfoques de adopción antes de su escalamiento. Este proceso resulta especialmente relevante en contextos donde las limitaciones estructurales del riego, la energía y el financiamiento incrementan los riesgos asociados a la introducción de nuevas tecnologías.

En este sentido, los proyectos piloto actúan como un puente entre la fase de exploración tecnológica y la fase de adopción programática, permitiendo avanzar de manera informada y gradual hacia esquemas de mayor alcance.

### 6.2. Criterios de selección, alcance y limitaciones del enfoque piloto

La selección de los proyectos piloto responde a la necesidad de maximizar su valor demostrativo y de aprendizaje, al tiempo que se minimizan riesgos estructurales que puedan impedir una evaluación adecuada de los SPIS. Por ello, la Hoja de Ruta define criterios orientadores que permitan identificar sitios con condiciones mínimas de viabilidad técnica, productiva y organizativa.

Estas condiciones mínimas no garantizan la sostenibilidad de largo plazo de los sistemas, pero sí permiten su implementación piloto y la generación de evidencia relevante. Entre los criterios

orientativos se incluyen la disponibilidad de fuentes de agua subterránea utilizables, la posibilidad de integrar tecnologías de riego eficiente, la disposición de los pequeños productores a participar en procesos de capacitación y la articulación con servicios de extensión agrícola y actores territoriales.

El alcance de los proyectos piloto es deliberadamente acotado. No buscan resolver de manera integral las limitaciones estructurales del riego en la agricultura a pequeña escala. Su objetivo es validar enfoques, ajustar criterios y generar aprendizajes aplicables a fases posteriores.

En consecuencia, la Hoja de Ruta reconoce las limitaciones del enfoque piloto y subraya que sus resultados no deben extrapolarse automáticamente a otros territorios sin un análisis contextual previo.

### **6.3. Aprendizajes técnicos, operativos y sociales derivados de los pilotos**

En la práctica, los proyectos piloto permiten identificar aprendizajes técnicos, operativos y sociales que solo emergen durante la implementación de los SPIS en condiciones reales, al interactuar con el territorio, las prácticas productivas y las capacidades de los pequeños productores.

En el plano técnico, los pilotos permiten evaluar el desempeño de los SPIS frente a variaciones en la disponibilidad de agua subterránea, condiciones climáticas y patrones de uso del riego. Esta evidencia resulta fundamental para ajustar criterios de diseño, dimensionamiento y operación, evitando soluciones desconectadas de la realidad productiva.

Desde una perspectiva operativa, los pilotos aportan información aplicada sobre los requerimientos de acompañamiento técnico, la capacidad de los usuarios para operar y mantener los sistemas, y la interacción entre el riego solar, las prácticas agrícolas y la planificación productiva.

En el plano social, los pilotos permiten observar procesos de apropiación tecnológica, dinámicas organizativas, participación de mujeres y grupos organizados, así como posibles tensiones o acuerdos en torno al uso del agua y la gestión de la infraestructura.

Asimismo, la Hoja de Ruta recomienda que los proyectos piloto incorporen, de manera proporcional y no compleja, el seguimiento básico de los ciclos productivos asociados a los SPIS, incluyendo cambios en rendimientos, estabilidad de la producción y continuidad de las cosechas.

Este seguimiento permite evaluar no solo el desempeño técnico de los sistemas, sino también su contribución a la viabilidad productiva y a la toma de decisiones de los pequeños productores.

### **6.4. Contribución de los pilotos a la reducción de riesgos**

Los proyectos piloto cumplen una función central en la reducción de los riesgos asociados a la adopción de SPIS, al permitir una implementación gradual y acompañada en contextos de agricultura a pequeña escala, donde la disponibilidad de recursos y la aversión al riesgo condicionan las decisiones productivas.

Desde el punto de vista técnico y operativo, los pilotos facilitan la identificación temprana de limitaciones de diseño, fallas de operación y brechas de capacidades que podrían afectar el desempeño de los sistemas a mayor escala.

En el plano institucional, los pilotos aportan evidencia práctica que disminuye la incertidumbre sobre la viabilidad de los SPIS, fortaleciendo la capacidad de las instituciones públicas para ajustar criterios, mejorar la coordinación entre actores y orientar decisiones de adopción progresiva.

Para los pequeños productores, la experiencia piloto reduce el riesgo percibido de adoptar una tecnología nueva, al facilitar el aprendizaje práctico y la comprensión de sus beneficios y limitaciones en condiciones reales de uso.

## 6.5. Uso de la evidencia piloto para decisiones de política y escalamiento

La Hoja de Ruta subraya que el valor de los proyectos piloto no reside únicamente en su implementación, sino en el uso sistemático de la evidencia generada para orientar decisiones estratégicas. Los aprendizajes derivados de los pilotos deben ser documentados, analizados e incorporados en el diseño y ajuste de políticas, programas e instrumentos de apoyo.

La evidencia piloto permite refinar criterios técnicos y operativos, mejorar los modelos de acompañamiento, orientar la definición de mecanismos financieros e institucionales y priorizar territorios donde la adopción de SPIS resulta más viable.

En este sentido, los resultados de los pilotos constituyen un insumo clave para definir secuencias de implementación y estructurar programas de adopción progresiva.

Su incorporación explícita en los procesos de toma de decisiones permite avanzar hacia el escalamiento de los SPIS sobre una base empírica y contextualizada, reduciendo riesgos y fortaleciendo la sostenibilidad de las intervenciones.

## 7. Hoja de Ruta para la adopción y el escalamiento de SPIS

La Hoja de Ruta propone una estrategia de implementación progresiva para la adopción y el escalamiento de SPIS, estructurada en tres fases secuenciales que permiten reducir riesgos, consolidar capacidades y avanzar hacia una expansión ordenada y sostenible.

Esta estrategia reconoce que la adopción de SPIS en la agricultura a pequeña escala no puede abordarse como una intervención inmediata ni uniforme, sino como un proceso gradual, basado en aprendizaje, validación, ajuste y fortalecimiento institucional y territorial.

Las fases descritas a continuación se desarrollan de manera complementaria al Recuadro 5, que presenta una síntesis visual de la estrategia de implementación y de las condiciones transversales que orientan el proceso.

### Fase 1. Establecimiento institucional e implementación piloto

La primera fase se orienta a crear las condiciones habilitantes mínimas para iniciar el proceso de adopción de los SPIS, combinando el fortalecimiento institucional con la implementación de experiencias piloto controladas.

Durante esta fase, el énfasis se coloca en organizar el marco de gobernanza, movilizar recursos iniciales y validar, en condiciones reales, los criterios técnicos, territoriales y sociales definidos en la Hoja de Ruta. Los proyectos piloto cumplen una función estratégica al permitir comprobar la viabilidad operativa de los enfoques propuestos, reducir incertidumbres y generar evidencia antes de avanzar hacia escalas mayores.

La implementación piloto en esta etapa no tiene como objetivo la cobertura, sino el aprendizaje estructurado y la validación de supuestos críticos para el diseño del programa.

### Fase 2. Evaluación y optimización

La segunda fase se centra en el análisis sistemático de la experiencia piloto y en el ajuste de los elementos clave del programa de adopción de SPIS.

Los resultados técnicos, productivos, financieros y sociales observados en campo constituyen un insumo esencial para mejorar el diseño del programa, afinar criterios de selección, ajustar esquemas operativos y fortalecer los mecanismos de supervisión y gobernanza.

Esta fase permite corregir desajustes tempranos, evitar la replicación de errores y consolidar un enfoque de adopción más robusto y contextualizado, sin apresurar el proceso de expansión. La evaluación y optimización constituyen, por tanto, un paso crítico para asegurar la calidad y sostenibilidad del escalamiento posterior.




### Fase 3. Expansión y ampliación

La tercera fase corresponde a la expansión progresiva del programa, una vez que los criterios técnicos, operativos e institucionales han sido validados y ajustados en las fases anteriores.

En esta etapa se busca ampliar la cobertura hacia nuevos territorios o productores, fortalecer los sistemas de información para el seguimiento programático y consolidar las capacidades técnicas e institucionales necesarias para una implementación a mayor escala. Se promueve un mayor protagonismo de los actores territoriales, en coherencia con el fortalecimiento de la gobernanza local y de los servicios de extensión.

La expansión no se concibe como un proceso automático, sino como una ampliación controlada que mantiene el énfasis en la calidad, la sostenibilidad y la reducción de riesgos.

### Recuadro 5. Estrategia de implementación del programa de adopción de SPIS

	<p><b>FASE 1:</b> Establecimiento institucional e implementación piloto</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arreglo institucional definido y unidad responsable designada</li> <li>• Recursos iniciales movilizados</li> <li>• Sitios piloto seleccionados</li> <li>• Alianzas establecidas con proveedores, actores financieros y cooperación</li> <li>• Validación territorial de productores y condiciones locales</li> </ul>
	<p><b>FASE 2:</b> Evaluación y optimización</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguimiento de resultados técnicos, productivos, financieros y sociales</li> <li>• Ajuste de criterios técnicos, esquemas de pago y mecanismos operativos</li> <li>• Fortalecimiento de protocolos de supervisión y gobernanza</li> </ul>
	<p><b>FASE 3:</b> Expansión y ampliación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reinversión de flujos financieros para ampliar cobertura</li> <li>• Sistemas de información para seguimiento programático</li> <li>• Mayor protagonismo de actores territoriales</li> <li>• Consolidación de capacidades técnicas e institucionales</li> </ul>
<p><b>Condiciones transversales de sostenibilidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Subsidios decrecientes en el tiempo</li> <li>• Límites claros para evitar dependencia</li> <li>• Gobernanza territorial como eje de coordinación</li> <li>• Esquemas de pago adaptados a la agricultura a pequeña escala</li> </ul>		
<p><i>El presente esquema tiene carácter orientativo y no establece rigideces temporales ni fases estrictamente lineales.</i></p>		

## 7.1. Secuencia lógica de implementación y actores involucrados

La implementación de la Hoja de Ruta requiere una articulación coherente y progresiva entre actores públicos, privados y territoriales, con roles claramente diferenciados y complementarios a lo largo de las distintas fases del proceso.

De manera general:

- **Las instituciones públicas** lideran la definición de lineamientos estratégicos y técnicos, la coordinación interinstitucional, la gestión de programas y los mecanismos de apoyo y financiamiento, asegurando coherencia con las políticas públicas y prioridades nacionales.
- **Los servicios de extensión agrícola y los actores territoriales** facilitan la adopción en campo, el fortalecimiento de capacidades, la apropiación social de la tecnología y el acompañamiento a los pequeños productores durante las distintas etapas del proceso.
- **El sector privado** contribuye mediante la provisión de soluciones tecnológicas, servicios de diseño, instalación y soporte técnico, conforme a criterios de calidad definidos por las instituciones responsables.
- **Los proyectos piloto y los sistemas de seguimiento** generan evidencia técnica, productiva y operativa que alimenta los procesos de aprendizaje, ajuste de enfoques y toma de decisiones informadas para el escalamiento progresivo.

Esta secuencia busca asegurar que el proceso de adopción y escalamiento de los SPIS sea ordenado, flexible y sostenible, evitando enfoques fragmentados o dependientes de iniciativas aisladas, y preparando el terreno para el desarrollo de los instrumentos financieros y de seguimiento que se abordan en los capítulos siguientes.

## 8. Modelo financiero y esquemas de apoyo para SPIS

La adopción y el escalamiento de SPIS en la agricultura a pequeña escala requieren la existencia de modelos financieros adecuados a las realidades productivas, económicas y organizativas de los pequeños productores. Si bien los SPIS ofrecen ventajas claras en términos de reducción de costos operativos y resiliencia productiva, la inversión inicial constituye una barrera significativa que no puede ser superada únicamente mediante mecanismos de mercado convencionales.

En este sentido, la Hoja de Ruta no propone un modelo financiero único ni cerrado, sino que establece principios, criterios y orientaciones estratégicas para el diseño de esquemas de apoyo y financiamiento que permitan habilitar la adopción progresiva de SPIS de manera sostenible, inclusiva y alineada con las prioridades de política pública.

### 8.1. Principios orientadores del modelo financiero para SPIS

El diseño de esquemas financieros para la adopción de SPIS debe partir de un conjunto de principios que reconozcan las condiciones estructurales de la agricultura a pequeña escala y eviten enfoques puramente comerciales o de corto plazo. Entre los principios orientadores se destacan:

- **Accesibilidad financiera:** los instrumentos deben reducir de manera efectiva la barrera de inversión inicial para los pequeños productores, evitando requisitos de capital, garantías o flujos de ingreso que no correspondan a su realidad productiva.
- **Gradualidad y progresividad:** el apoyo financiero debe concebirse como un proceso escalonado, que permita transitar de esquemas con mayor apoyo público hacia una mayor participación de recursos propios y financiamiento productivo en el tiempo.
- **Enfoque en resiliencia y seguridad alimentaria:** los beneficios de los SPIS deben evaluarse no solo en términos de rentabilidad financiera directa, sino también por su contribución a la estabilidad productiva, la reducción del riesgo climático y la seguridad alimentaria.
- **Adaptación a esquemas individuales y colectivos:** los modelos financieros deben ser compatibles tanto con adopciones individuales como con esquemas colectivos o asociativos, particularmente relevantes en contextos rurales y en grupos organizados.
- **Sostenibilidad fiscal e institucional:** los esquemas de apoyo deben ser viables desde el punto de vista de las finanzas públicas y de la capacidad institucional de implementación, evitando dependencias permanentes.

### 8.2. Subsidios inteligentes como mecanismo habilitante

La Hoja de Ruta reconoce que, en las etapas iniciales de adopción y escalamiento, los subsidios cumplen un rol habilitante clave para viabilizar la incorporación de SPIS en la agricultura a pequeña escala. No obstante, estos subsidios deben diseñarse de manera estratégica.

Se promueve el uso de subsidios inteligentes, caracterizados por:

- estar focalizados en territorios y poblaciones con alta vulnerabilidad climática y productiva;

- ser parciales y decrecientes en el tiempo, evitando esquemas de dependencia;
- estar condicionados al cumplimiento de criterios técnicos, como la integración con riego eficiente y el uso responsable del agua;
- vincularse a procesos de capacitación y acompañamiento, fortaleciendo la apropiación tecnológica.

Los subsidios no se conciben como un fin en sí mismo, sino como un instrumento para reducir riesgos iniciales, generar evidencia y facilitar la transición hacia esquemas más sostenibles de financiamiento productivo.

### **8.3. Financiamiento productivo adaptado a la agricultura a pequeña escala**

Más allá de los subsidios, el escalamiento de los SPIS requiere la participación de instrumentos de financiamiento productivo adaptados a los ciclos agrícolas, los ingresos estacionales y las capacidades reales de pago de los pequeños productores.

La Hoja de Ruta enfatiza la importancia de:

- periodos de gracia que reconozcan el tiempo necesario para que los beneficios productivos se materialicen;
- esquemas de pago flexibles, alineados con los ciclos de cosecha;
- mecanismos que permitan reducir riesgos percibidos por las instituciones financieras, mediante garantías parciales, fondos de cobertura o combinaciones con subsidios.

Estos instrumentos deben ser compatibles tanto con productores individuales como con organizaciones, o grupos productivos, reconociendo las formas reales de organización en el territorio.

### **8.4. Gestión de riesgos, garantías y sostenibilidad económica**

La percepción de riesgo constituye una de las principales barreras para la movilización de financiamiento hacia los SPIS. En este contexto, la Hoja de Ruta subraya la necesidad de mecanismos explícitos de gestión de riesgos, que fortalezcan la confianza de productores, instituciones financieras e instituciones públicas.

Entre estos mecanismos se incluyen:

- el uso de pilotos y evidencia de desempeño para reducir incertidumbre;
- la combinación de subsidios, financiamiento y acompañamiento técnico como paquete integral;
- esquemas de garantía parcial o fondos de cobertura orientados a tecnologías resilientes;
- el fortalecimiento del aseguramiento de la calidad técnica, como elemento clave para reducir fallas y proteger la inversión.

La sostenibilidad económica del modelo no se mide únicamente por la recuperación financiera, sino por su capacidad de mantener operativos los sistemas, generar beneficios productivos estables y permitir su replicabilidad en el tiempo.

## 8.5. Articulación del modelo financiero con la Hoja de Ruta

El modelo financiero debe entenderse como un componente integrado de la Hoja de Ruta, y no como un elemento aislado. Su diseño e implementación deben estar articulados con:

- los arreglos institucionales definidos en el Capítulo 5;
- los aprendizajes derivados de los proyectos piloto (Capítulo 6);
- y la secuencia de implementación por fases presentada en el Capítulo 7.

En este marco, la Hoja de Ruta propone que los esquemas financieros evolucionen de manera progresiva, incorporando evidencia, ajustando instrumentos y ampliando cobertura conforme se consolidan capacidades técnicas, institucionales y territoriales.

## 9. Monitoreo, evaluación y aprendizaje para el escalamiento de SPIS

El monitoreo, la evaluación y el aprendizaje (M&E) constituyen un componente estratégico de la Hoja de Ruta para la adopción y el escalamiento de SPIS en Guatemala. Su propósito no es únicamente dar seguimiento a resultados, sino reducir riesgos, validar supuestos y fortalecer la toma de decisiones a lo largo del proceso de adopción progresiva.

Dado que la Hoja de Ruta propone una implementación gradual, basada en fases y ajuste progresivo, el sistema de M&E se diseña ex ante, con el objetivo de generar evidencia una vez iniciada la implementación de pilotos y programas de adopción, y de alimentar ajustes técnicos, operativos e institucionales antes del escalamiento.

### 9.1. Objetivos del sistema de monitoreo, evaluación y aprendizaje

El sistema de M&E tiene como objetivos:

- Dar seguimiento al desempeño técnico, productivo, económico y social de los SPIS.
- Contrastar los supuestos de diseño con los resultados observados en campo.
- Identificar tempranamente riesgos, cuellos de botella y oportunidades de mejora.
- Generar evidencia para ajustes programáticos y decisiones de expansión.
- Fortalecer las capacidades institucionales a partir del uso sistemático de la evidencia generada.

Este enfoque prioriza el acompañamiento del proceso de adopción, más que la medición aislada de resultados finales.

### 9.2. Alcance y enfoque del M&E en el programa de adopción

El sistema de M&E se concibe con un alcance multidimensional, abarcando:

- **Dimensión técnica y operativa:** funcionamiento de los sistemas, uso del agua subterránea y articulación con riego eficiente.
- **Dimensión productiva:** estabilidad del riego y desempeño de los ciclos productivos.
- **Dimensión económica:** costos operativos, esquemas de pago y sostenibilidad financiera.
- **Dimensión social e institucional:** apropiación tecnológica, participación de pequeños productores y funcionamiento de los arreglos institucionales.

El diseño del sistema toma como referencia los marcos desarrollados para los proyectos piloto, adaptándolos a una escala programática y reconociendo que los indicadores y herramientas deberán ajustarse conforme avance la implementación.

### 9.3. Indicadores clave y fuentes de información

La Hoja de Ruta propone un sistema de indicadores acotado y operativo, priorizando la utilidad de la información sobre la complejidad metodológica. De manera indicativa, se consideran:

- Indicadores técnicos: disponibilidad y uso del agua, desempeño del bombeo solar y continuidad operativa.
- Indicadores productivos: superficie regada, estabilidad del riego y cambios en la producción.
- Indicadores económicos: costos de operación y cumplimiento de esquemas financieros.
- Indicadores sociales e institucionales: apropiación tecnológica y desempeño del acompañamiento técnico.

Las fuentes de información incluyen registros de campo, reportes de extensión agrícola, herramientas de seguimiento técnico y sistemas de información programática.

### 9.4. Roles institucionales en el seguimiento y la evaluación

El sistema de M&E requiere una distribución clara de responsabilidades:

- **Instituciones públicas responsables:** definición de indicadores, consolidación de información y uso de resultados para la toma de decisiones.
- **Servicios de extensión agrícola:** recolección de información básica y acompañamiento a los productores.
- **Proveedores tecnológicos:** aporte de información técnica relevante, sin sustituir funciones de supervisión pública.
- **Actores territoriales:** facilitación del acceso a la información y fortalecimiento de la comunicación con los pequeños productores.

Este esquema busca asegurar un M&E realista, operativo y alineado con las capacidades institucionales existentes.

### 9.5. Aprendizaje y uso de la evidencia para el escalamiento

El M&E se concibe explícitamente como un mecanismo de aprendizaje. La información generada debe utilizarse para:

- Ajustar criterios técnicos y operativos.
- Refinar esquemas financieros y mecanismos de apoyo.
- Mejorar los procesos de capacitación y acompañamiento.
- Informar decisiones sobre expansión territorial y escalamiento progresivo.

El aprendizaje se construirá de manera incremental, a partir de la implementación de pilotos y fases iniciales del programa, favoreciendo un escalamiento basado en evidencia y evitando extrapolaciones prematuras.

## 10. Replicabilidad y escalamiento territorial

La Hoja de Ruta para la adopción y el escalamiento de SPIS se concibe como un instrumento orientador, diseñado para facilitar su aplicación progresiva en distintos territorios del país. Su enfoque reconoce que la replicabilidad no implica la reproducción mecánica de un modelo único, sino la adaptación contextual de principios, criterios y secuencias de implementación a realidades territoriales diversas.

En este sentido, el escalamiento territorial de los SPIS debe entenderse como un proceso gradual y adaptativo, basado en evidencia, fortalecimiento de capacidades y consolidación institucional, evitando enfoques uniformes o expansiones aceleradas que puedan comprometer la sostenibilidad técnica, económica y social de las intervenciones.

### 10.1. Condiciones mínimas para la replicación del modelo SPIS

La replicación del modelo de adopción de SPIS requiere la existencia de un conjunto de condiciones habilitantes mínimas que permitan asegurar la viabilidad y sostenibilidad de las intervenciones en nuevos territorios. Estas condiciones no constituyen requisitos rígidos, sino referencias operativas para orientar decisiones de expansión territorial responsable.

Entre las condiciones clave se incluyen:

- disponibilidad comprobada de fuentes de agua subterránea con condiciones mínimas de sostenibilidad;
- presencia de agricultura a pequeña escala con dependencia significativa del riego para la estabilidad productiva;
- capacidades básicas de extensión agrícola y acompañamiento técnico en el territorio;
- arreglos institucionales que permitan coordinar actores públicos, territoriales y privados;
- interés y disposición de los productores para adoptar tecnologías de riego eficiente y gestión del agua.

La ausencia parcial de alguna de estas condiciones no excluye automáticamente la replicación, pero sí requiere ajustes en el diseño, el ritmo de implementación o los mecanismos de apoyo.

### 10.2. Adaptación a distintos niveles de madurez territorial

Los territorios del país presentan distintos niveles de madurez en términos de capacidades institucionales, organización productiva, acceso a servicios y experiencia previa con tecnologías de riego o energía solar. La Hoja de Ruta reconoce esta heterogeneidad y plantea que la adopción de SPIS debe ajustarse a dichos niveles de madurez.

En territorios con menor desarrollo institucional o experiencia limitada, el énfasis debe colocarse en fases piloto, fortalecimiento de capacidades y validación progresiva de criterios técnicos y operativos. En territorios con mayor trayectoria en riego o con estructuras organizativas

consolidadas, el proceso puede avanzar con mayor rapidez hacia esquemas de expansión programática y adopción a mayor escala.

Este enfoque diferenciado permite optimizar recursos, reducir riesgos de implementación y asegurar que el escalamiento responda a capacidades reales y no a expectativas homogéneas.

### **10.3. Estrategia de expansión progresiva a nivel nacional**

El escalamiento nacional de los SPIS debe construirse de manera progresiva, apoyándose en aprendizajes acumulados, evidencia generada por proyectos piloto y mecanismos de seguimiento continuo. La Hoja de Ruta propone una expansión gradual que consolide primero capacidades y arreglos institucionales antes de ampliar cobertura territorial.

Esta estrategia prioriza:

- la expansión por bloques territoriales o corredores productivos;
- el uso de evidencia técnica, productiva y financiera para orientar decisiones de expansión;
- la reinversión de flujos financieros del propio programa para ampliar cobertura;
- la articulación con programas públicos existentes y con iniciativas de cooperación.

El escalamiento no se concibe como un proceso automático, sino como una decisión informada, condicionada por resultados, capacidades y sostenibilidad.

### **10.4. Rol de la evidencia y el aprendizaje para la replicabilidad**

La replicabilidad del modelo SPIS depende de la capacidad institucional para aprender de la experiencia y ajustar enfoques a lo largo del tiempo. La sistematización de resultados, lecciones aprendidas y buenas prácticas constituye un insumo central para adaptar el modelo a nuevos contextos.

La evidencia generada a través de pilotos, programas iniciales y mecanismos de monitoreo permite:

- identificar tipologías de sistemas más adecuadas según contexto;
- ajustar criterios técnicos, financieros y operativos;
- fortalecer la toma de decisiones públicas;
- reducir incertidumbre en procesos de expansión territorial.

Este enfoque refuerza el carácter dinámico de la Hoja de Ruta y evita la reproducción de esquemas que no respondan a realidades locales.

## 10.5. Replicabilidad como proceso adaptativo y no prescriptivo

Finalmente, la Hoja de Ruta enfatiza que la replicabilidad del modelo de adopción de SPIS no debe entenderse como la aplicación rígida de un conjunto fijo de acciones, sino como un proceso adaptativo, sensible al territorio y orientado a la sostenibilidad de largo plazo.

El escalamiento territorial exitoso requiere flexibilidad, coordinación interinstitucional y una lectura constante de las condiciones productivas, sociales y ambientales. Desde esta perspectiva, la replicabilidad se consolida no por la uniformidad del modelo, sino por la coherencia de sus principios y la capacidad de adaptación a contextos diversos del país.

## 11. Conclusiones y llamado a la acción

La adopción y el escalamiento de sistemas de riego solar sostenible (SPIS) en Guatemala representan una oportunidad estratégica para fortalecer la resiliencia productiva de la agricultura a pequeña escala, mejorar el uso eficiente del agua y reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático.

A lo largo de esta Hoja de Ruta se ha puesto de manifiesto que la adopción de SPIS no debe entenderse como una solución exclusivamente tecnológica, sino como un proceso integral que requiere condiciones habilitantes claras, articulación interinstitucional, fortalecimiento de capacidades, esquemas financieros adecuados y una implementación progresiva basada en aprendizaje y evidencia. La sostenibilidad de los SPIS depende tanto de su diseño técnico como del entorno institucional, social y territorial en el que se insertan.

La Hoja de Ruta plantea un enfoque realista y escalonado, que prioriza la reducción de riesgos mediante proyectos piloto, el ajuste progresivo de criterios técnicos y operativos, y la consolidación de capacidades antes de avanzar hacia fases de mayor expansión. Este enfoque permite evitar implementaciones apresuradas, proteger a los pequeños productores y sentar bases sólidas para una adopción sostenible de los SPIS a mayor escala.

Asimismo, el documento resalta la importancia de integrar los SPIS en las políticas públicas, los programas productivos y los servicios de extensión agrícola existentes, evitando esquemas paralelos o aislados. La articulación con estructuras territoriales, el rol de los servicios de extensión y el fortalecimiento de un mercado de soluciones SPIS confiable emergen como factores clave para garantizar apropiación, calidad y sostenibilidad en el tiempo.

Desde una perspectiva estratégica, esta Hoja de Ruta no constituye un plan cerrado ni prescriptivo, sino un marco orientador flexible, diseñado para adaptarse a distintos contextos territoriales, niveles de madurez institucional y disponibilidades de recursos. Su valor radica en ofrecer una secuencia lógica de implementación, junto con principios rectores y criterios operativos que pueden guiar decisiones de política pública, diseño programático e inversión.

### Llamado a la acción

La implementación efectiva de esta Hoja de Ruta requiere un compromiso coordinado de los actores involucrados en el desarrollo rural, la gestión del agua, la energía, la adaptación al cambio climático y el financiamiento productivo. En particular, se hace un llamado a:

- **Las instituciones públicas**, a utilizar esta Hoja de Ruta como referencia para el diseño de programas, la coordinación interinstitucional y la definición de mecanismos de apoyo que faciliten la adopción sostenible de SPIS.
- **Los servicios de extensión agrícola y los actores territoriales**, a desempeñar un rol activo en el acompañamiento, la capacitación y la apropiación social de las soluciones de riego solar.
- **El sector privado**, a fortalecer su oferta técnica y de servicios bajo criterios de calidad, transparencia y sostenibilidad, contribuyendo al desarrollo de un mercado SPIS confiable y responsable.

- **Los actores financieros y de cooperación**, a alinear instrumentos y recursos con enfoques progresivos, adaptados a la agricultura a pequeña escala y orientados a la reducción de riesgos.

La adopción de SPIS, abordada de manera estratégica, coordinada y progresiva, tiene el potencial de convertirse en un pilar para la transformación de los sistemas productivos rurales, la mejora de la seguridad alimentaria y el fortalecimiento de la resiliencia climática en Guatemala.



**tta** Energy  
that  
drives  
change

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

 +34 93 446 3234

 [ttaenergy.com](http://ttaenergy.com)  [TTA - Trama TecnoAmbiental](#)