



**Facultad de  
Ciencias Sociales y Humanísticas**

## **PROYECTO DE TITULACIÓN**

**“PROPUESTA DE PROGRAMA PILOTO INTEGRAL DE DESARROLLO  
SOCIOECONÓMICO RURAL A TRAVÉS DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS Y  
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL CANTÓN PIÑAS”**

**Previa la obtención del Título de:  
Magister en Política y Gestión Pública**

**Presentado por:  
Yasmani Leonardo Aguilar Sánchez  
Ronald Rodrigo Dávila Lara**

**Guayaquil – Ecuador**

**2024**

## **AGRADECIMIENTO**

Al concluir este trabajo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento. A Dios por ser mi eje. A mi familia, por su amor incondicional y paciencia, que han sido mi refugio y fuerza. A mi tutor, Santiago León, por su valiosa orientación y sabiduría, esenciales para el éxito de esta tesis. A la ESPOL, por el entorno académico y los recursos que han enriquecido mi formación. Y a mis compañeros, por convertir los desafíos en aprendizajes y las dificultades en recuerdos compartidos. Cada uno de ustedes ha sido clave en la realización de este proyecto. ¡Gracias por ser parte fundamental de este logro!

*YASMANI LEONARDO AGUILAR SÁNCHEZ*

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida. Mi sincero agradecimiento va a todas las personas que hicieron posible esta tesis. A mi tutor, Santiago León, por su valiosa orientación, apoyo y paciencia a lo largo del proceso de investigación y redacción; su experiencia ha sido crucial. A mi amigo y compañero de tesis, Yasmani Aguilar, por su apoyo y contribuciones. Un agradecimiento especial a mi familia, por su apoyo emocional y constante motivación. Finalmente, agradezco a todos quienes, de alguna manera, contribuyeron a la realización de este trabajo. ¡Muchas gracias a todos!

*RONALD RODRIGO DÁVILA LARA*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de tesis a mis queridos hijos, Leonardo y el pequeño que está por llegar Samuel. A Leonardo, por ser una fuente constante de inspiración y alegría, y a mi futuro hijo Samuel, que ya ocupa un lugar especial en mi corazón. Espero que este esfuerzo y dedicación sirvan como ejemplo de perseverancia y amor por el conocimiento. Con cada logro y desafío enfrentado en este camino, mi mayor deseo es que ambos crezcan con el mismo entusiasmo y pasión por aprender. Esta tesis es para ustedes, como un símbolo del amor y la dedicación que siento por mi familia.

*YASMANI LEONARDO AGUILAR SÁNCHEZ*

Primero a Dios, por cada oportunidad que me da. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo, sus sacrificios y por siempre estar. A mi familia, por el cariño y motivación que siempre me brindan.

*RONALD RODRIGO DÁVILA LARA*

## **COMITÉ DE EVALUACIÓN**

---

**MSc. Santiago León Abad**

**Tutor**

---

**Mgtr. Milton Paredes Aguirre**

**Evaluador 1**

---

**MBA. María Cecilia Moreno Abramowicz**

**Presidenta**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Titulación, corresponde exclusivamente al autor, y al patrimonio intelectual de la misma **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**”

Yasmani Leonardo Aguilar Sánchez

Ronald Rodrigo Dávila Lara

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
COMITÉ DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
INDICE GENERAL .....	vi
RESUMEN .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE CUADROS .....	x
ABREVIATURAS .....	xi
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES .....	1
1.1 SOBRE EL CONTEXTO POLÍTICO Y ORGANIZACIONAL .....	1
1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO .....	3
1.3 ESPECIFICACIÓN DE OBJETIVOS .....	3
1.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LA COMUNIDAD Y SU IMPORTANCIA .....	4
1.4.1 Análisis FODA .....	5
1.4.2 Análisis CANVAS .....	7
CAPÍTULO 2 REVISIÓN DE FUENTES TEÓRICAS .....	8
2.1 DESARROLLO RURAL: UN ENFOQUE MULTIDIMENSIONAL PARA EL PROGRESO SOSTENIBLE .....	8
2.2 SISTEMAS HIDROPÓNICOS .....	9
2.3 SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA .....	12
2.4 INTEGRACIÓN DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS Y FOTOVOLTAICOS. ....	14
2.5 IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE TECNOLOGÍAS INNOVADORAS EN AGRICULTURA .....	16
2.6. RECAPITULACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ESTUDIOS PREVIOS .....	16
2.7. INVESTIGACIÓN PREVIA Y SU IMPACTO EN EL PROYECTO .....	18
CAPÍTULO 3 ENFOQUE METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
3.1 CAPTURA DE DATOS Y/O RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	19
3.2 OBSTÁCULOS Y LIMITACIONES .....	19

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DEL PROYECTO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS .....	21
4.1 PLAN DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS Y SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN COMUNIDADES RURALES .....	21
4.1.1 Definición de roles y responsabilidades. ....	21
4.1.2 Cronograma .....	22
4.1.3 Recursos necesarios .....	22
4.1.4 Seguimiento y evaluación.....	23
4.2 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICA PARA ESTABLECER SISTEMAS HIDROPÓNICOS Y DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN COMUNIDADES RURALES. ....	25
4.2.1 Viabilidad técnica .....	25
4.2.2 Viabilidad ambiental.....	27
4.2.3 Viabilidad económica .....	28
4.3 FORMULACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS POR LA PREFECTURA DE EL ORO PARA EL DESARROLLO PRODUCTIVO RURAL .....	36
4.3.1 Competencias y Atribuciones de la Prefectura según el COOTAD .....	36
4.3.2 Propuesta de Política Pública .....	36
4.3.3 Estrategias de Implementación .....	37
4.3.4 Impacto Esperado y Beneficios .....	37
4.4 ESTRUCTURACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO .....	38
4.5 REVISIÓN DE RESULTADOS .....	42
4.6 ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD PARA UNA FAMILIA DEL CAMPO RURAL .....	43
4.7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	44
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	45
5.1 RESUMEN DE CONCLUSIONES .....	45
5.2 IMPLICACIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
CAPÍTULO 6 REFERENCIAS .....	49

## RESUMEN

El proyecto de titulación “Propuesta de Programa Piloto Integral de Desarrollo Socioeconómico Rural a través de Sistemas Hidropónicos y Energía Fotovoltaica en el Cantón Piñas” tiene como objetivo diseñar e implementar un programa piloto que combine tecnología hidropónica NFT y energía fotovoltaica para mejorar la productividad agrícola y generar ingresos económicos sostenibles en zonas rurales del cantón Piñas, provincia de El Oro. La estructura del trabajo se divide en varios capítulos que abordan el contexto político y organizacional, la identificación del problema, la revisión de fuentes teóricas, el enfoque metodológico, el análisis e interpretación de resultados, y las conclusiones y recomendaciones. El estudio inicia con la contextualización del problema por la escasa generación de ingresos en las familias rurales debido a prácticas agrícolas ineficientes y una infraestructura energética insuficiente. Se desarrolla un análisis FODA que destaca fortalezas y oportunidades, mientras identifica debilidades como la alta inversión inicial y amenazas de variabilidad climática. El modelo CANVAS proporciona una visión integral del proyecto, abarcando segmentos clave como clientes, propuesta de valor y estructura de costos. La revisión de la literatura resalta la importancia de tecnologías innovadoras como la hidroponía y la energía fotovoltaica, evaluando su impacto socioeconómico y medioambiental. La metodología del proyecto incluye un enfoque mixto que combina técnicas cuantitativas y cualitativas para evaluar la factibilidad técnica, económica y social de la propuesta. La factibilidad técnica se respalda con datos sobre la disponibilidad de recursos hídricos y solares, mientras que la viabilidad económica y social se fundamenta en un análisis detallado de los costos de instalación, mantenimiento y beneficios económicos proyectados, demostrando que el proyecto es una solución viable para enfrentar los desafíos socioeconómicos en las comunidades rurales. La estructuración incluye un plan de acción detallado, un tablero de mando y ejes de acción enfocados en la capacitación, sensibilización, instalación de sistemas y monitoreo continuo, garantizando una implementación efectiva y sostenible del programa. La conclusión principal es que la propuesta no solo es viable, sino que también tiene el potencial de generar ingresos sostenibles, mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales y contribuir a la seguridad alimentaria, así como a la sostenibilidad ambiental. Las recomendaciones incluyen la necesidad de capacitación continua para los agricultores y el establecimiento de un sistema de monitoreo y evaluación para asegurar el éxito y la sostenibilidad del programa a largo plazo.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Parroquias del cantón Piñas .....	2
Figura 1.2 Análisis CANVASFuente: Elaborado por los autores .....	7
Figura 2.1 Componentes de un sistema hidropónico NFT .....	12
Figura 2.2 Componentes de un sistema de energía fotovoltaica .....	14
Figura 2.3 Diagrama de bloques del sistema de integración fotovoltaico-hidropónico .....	15
Figura 4.1 Roles y responsabilidades .....	21
Figura 4.2 Mecanismos de seguimiento y evaluación .....	24
Figura 4.3 Diagrama de flujo para análisis de la viabilidad técnica .....	26

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1 Identificación de las necesidades de la comunidad .....	5
Cuadro 1.2 Análisis FODA .....	6
Cuadro 4.1 Cronograma .....	22
Cuadro 4.2 Recursos para la ejecución del proyecto.....	23
Cuadro 4.3 Análisis de viabilidad ambiental.....	28
Cuadro 4.4 Costos de implementación de los Sistemas Fotovoltaico e Hidropónico .....	30
Cuadro 4.5 Costo por m2 de producción .....	30
Cuadro 4.6 Costos de producción.....	31
Cuadro 4.7 Costos de mantenimiento.....	31
Cuadro 4.8 Beneficios económicos .....	33
Cuadro 4.9 Análisis de sensibilidad .....	35
Cuadro 4.10 Ejes de Acción .....	39
Cuadro 4.11 Plan de Acción.....	40
Cuadro 4.12 Tablero de mando .....	41

## ABREVIATURAS

FAO	Food and Agriculture Organization
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
NFT	Nutrient Film Technique
DWC	Deep Water Culture
CC	Corriente continua
PWM	Pulse Width Modulated
MPPT	Maximum Power Point Tracking
CA	Corriente Alterna
PBP	Retorno de la inversión
CCP	Flujo de caja acumulado
ROI	Rentabilidad de la inversión
USD	Dólar de los Estados Unidos
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
HSP	Horas solar pico
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
ONG	Organización No Gubernamental
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
OMS	Organización Mundial de la Salud
GEI	Gases de efecto invernadero
PVSYST	Software especializado en simulación solar para el diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos
NASA	National Aeronautics and Space Administration
eval.	Evaluación
prd.	Periodo
sgte.	Siguiente
COOTAD	Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización

## **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES**

Para abordar las necesidades de desarrollo socioeconómico sostenible en áreas rurales, se ha conceptualizado el "Programa Piloto Integral de Desarrollo Socioeconómico Rural a través de Sistemas Hidropónicos y Energía Fotovoltaica en el cantón Piñas". Este programa se origina en un contexto donde enfrentar desafíos globales como la seguridad alimentaria y la eficiencia energética se hace crucial, especialmente en comunidades rurales que sufren de limitaciones tecnológicas y de recursos. A nivel mundial, las pequeñas explotaciones agrícolas, que constituyen el 70% de todas las unidades agrícolas y proporcionan hasta el 80% de los alimentos en Asia y África subsahariana, resaltan la importancia de optimizar la producción agrícola mediante tecnologías innovadoras y sostenibles (FAO, 2017).

### **1.1 SOBRE EL CONTEXTO POLÍTICO Y ORGANIZACIONAL**

En El Oro, provincia del Ecuador, se encuentra el cantón Piñas, cuya geografía es montañosa y diversa, con una altitud que oscilan entre los 200-1300 metros por encima del nivel del mar (GAD Municipal del Cantón Piñas, 2019). Topográficamente el cantón Piñas cuenta con microclimas favorables para una variedad de cultivos, lo que posiciona al cantón como una zona adecuada para el desarrollo de sistemas agrícolas como la hidroponía y recibe buena cantidad de irradiación solar anual<sup>1</sup>, lo que es esencial para la eficiencia de los sistemas de energía fotovoltaica.

El cantón Piñas tiene un mayor potencial para el desarrollo de sistemas agrícolas hidropónicos y desarrollo de sistemas de energía fotovoltaica debido a su combinación única de microclimas favorables, alta irradiación solar y capacidad para una gestión hídrica eficiente. Estas condiciones lo hacen adecuado para implementar sistemas de hidroponía y fotovoltaica, ofreciendo una oportunidad significativa para mejorar la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental en la región.

La división política del cantón Piñas comprende parroquias urbanas y rurales, que son las siguientes:

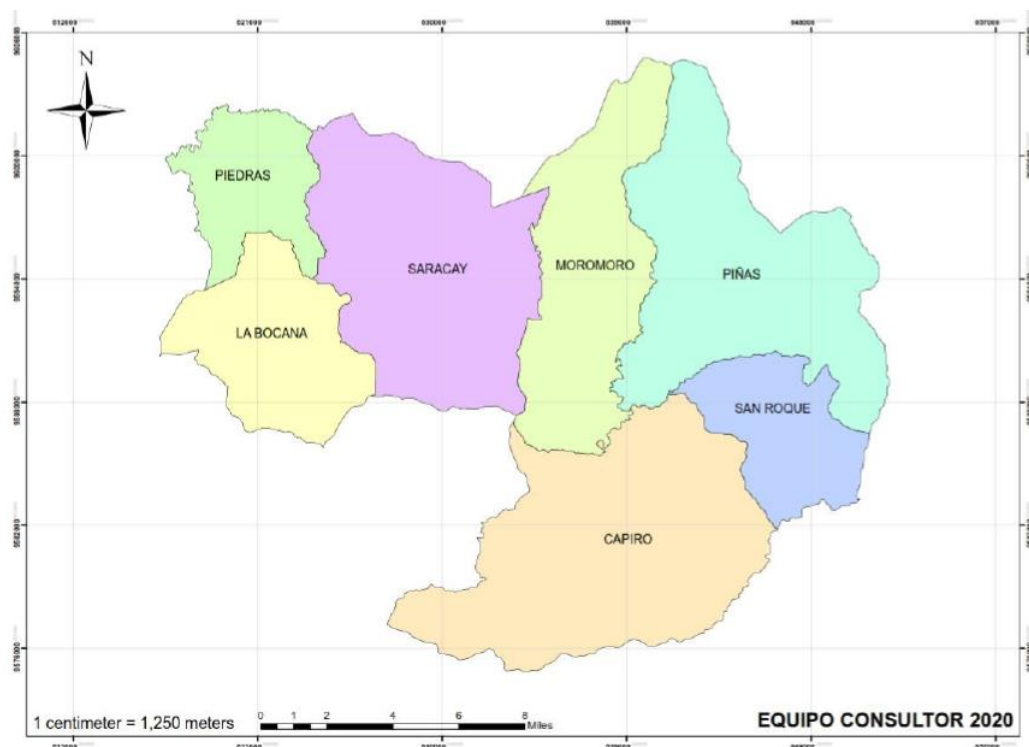
---

<sup>1</sup> (IRENA, 2020) las regiones con 4 a 6 HSP diarias son altamente adecuadas para la implementación de sistemas fotovoltaicos. De acuerdo a los datos obtenidos en el software PVSYST las HSP en el catón Piñas son 5.2

- Parroquias urbanas:
  - Piñas (cabecera cantonal).
  - Piñas Grande
  - La Susaya
- Parroquias rurales:
  - San Roque
  - Capiro
  - Moromoro
  - Piedras
  - La Bocana
  - Saracay

Esta división política permite una gestión administrativa descentralizada y a su vez brindar una mejor atención acorde a las necesidades específicas de cada parroquia.

Figura 1.1 - Parroquias del cantón Piñas



Fuente: Plan de desarrollo y ordenamiento territorial

La ciudad de Piñas cuenta con alrededor de 29,406 habitantes, de los cuales aproximadamente 10,924 habitantes pertenecen a las áreas rurales, donde el 63% se encuentra en condición de pobreza, esto corresponde a datos del último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022). Estas comunidades rurales tienen una gran dependencia de agricultura tradicional para su sustento y enfrentan desafíos socioeconómicos como un acceso limitado a servicios básicos como electricidad, educación y salud. La aplicación de tecnologías agrícolas sofisticadas tiene el potencial de mejorar la productividad de la agricultura, así como a diversificar los ingresos y mejorar calidad de vida de las familias.

Las familias rurales de Piñas se enfrentan a restricciones en cuanto a la posibilidad de obtener tecnología y financiamiento, lo que requiere un enfoque integral y apoyo específico para garantizar la sostenibilidad de dichos proyectos.

Los ingresos económicos de la población rural son bajos, la mayoría de las familias viven por debajo del umbral de pobreza. El ingreso total promedio mensual del área rural a nivel nacional es de aproximadamente \$567 (INEC, 2013), lo que representa un valor menor al costo de la canasta básica familiar (INEC, 2012), dependiendo de la temporada y la producción agrícola. Esta situación económica limitada resalta la necesidad de implementar programas que puedan diversificar y aumentar los ingresos de estas familias.

## **1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO**

Diseñar una propuesta de programa piloto integral de desarrollo socioeconómico rural agrícola, evaluando la factibilidad social, técnica y económica de integrar un sistema hidropónico que va acoplado a un sistema de energía fotovoltaica, para incrementar la productividad agrícola, generando ingresos sostenibles a fin de optimizar la calidad de vida de las familias rurales del cantón Piñas, en la provincia de El Oro.

## **1.3 ESPECIFICACIÓN DE OBJETIVOS**

1. Realizar un análisis de la situación actual de las familias rurales participantes, considerando aspectos socioeconómicos, culturales y ambientales, para comprender sus necesidades, recursos disponibles y capacidades para implementar sistemas hidropónicos y sistemas de energía fotovoltaicos, basado en información secundaria y estudios previos existentes.

2. Diseñar un plan detallado para la puesta en marcha y operación de sistemas hidropónicos y de energía fotovoltaica en las comunidades rurales, definiendo roles y responsabilidades, cronogramas, recursos necesarios y mecanismos de seguimiento y evaluación.
3. Evaluar La factibilidad técnica, ambiental y económica de la implementación de sistemas hidropónicos y energía fotovoltaica en las áreas rurales, considerando factores como los recursos hídricos, la radiación solar y los costos de implementación y mantenimiento.

Estructurar y evaluar el proyecto, incluyendo estrategias de capacitación y sensibilización para agricultores y miembros de las comunidades rurales, así como un sistema de monitoreo y evaluación continua del impacto del proyecto.

#### **1.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LA COMUNIDAD Y SU IMPORTANCIA**

Uno de los principales problemas en el cantón Piñas es la escasa generación de ingresos entre las familias rurales, debido a prácticas agrícolas poco eficientes y una infraestructura energética insuficiente. Estas condiciones provocan una vulnerabilidad económica significativa, lo cual incide en la calidad de vida de las comunidades rurales. Es imperativo mejorar la productividad agrícola y generar ingresos de forma sostenible, por lo que la implementación de sistemas hidropónicos con energía fotovoltaica se plantea como una solución viable para hacer frente a estos desafíos.

Sin embargo, evaluar la factibilidad de aplicar estas tecnologías avanzadas en entornos rurales presenta limitaciones significativas, incluyendo desafíos técnicos, económicos y sociales. Requiere un marco de tiempo adecuado y consideración de variaciones climáticas, económicas y sociales que podrían influir en la efectividad del programa.

Esta evaluación debe considerar meticulosamente los costos iniciales significativos asociados con la instalación de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos, asegurando que la propuesta sea viable financieramente para las comunidades rurales objetivo. Además, desde una perspectiva espacial y territorial, la evaluación se orientará a identificar áreas donde el uso de estas tecnologías pueda ser más efectivo y beneficioso, tomando en cuenta las

variaciones climáticas, económicas y sociales que podrían influir en la factibilidad del programa.

Cuadro 1.1 Identificación de las necesidades de la comunidad

<b>Identificación del Problema</b>	<b>Propósitos y Objetivos</b>
<b>Necesidad de los usuarios:</b>	<b>Analgésico:</b>
Acceso a Recursos Energéticos Sostenibles: Las comunidades rurales de Piñas enfrentan desafíos en el acceso y la estabilidad del suministro eléctrico.	Proporcionar electricidad constante, reduce interrupciones, mejora calidad de vida.
Mejora de la Seguridad Alimentaria y Generación de Ingresos: La seguridad alimentaria y los ingresos son críticos para las familias rurales de Piñas.	Sistemas hidropónicos optimizan cultivo, elevan producción e ingresos.
<b>Dolores:</b>	<b>Problemas sociales resueltos:</b>
Interrupciones eléctricas frecuentes, limitaciones económicas y educativas, infraestructura deficiente.	Suministro eléctrico estable, favorece desarrollo económico y educativo.
Baja producción agrícola, inseguridad alimentaria, ingresos limitados.	Aumenta producción alimentaria, genera ingresos, mejora seguridad alimentaria.
<b>Ganancia social:</b>	<b>Productos o servicios:</b>
Mejora infraestructura eléctrica, permite uso de tecnologías, eleva bienestar comunitario.	Sistemas fotovoltaicos, baterías, mantenimiento técnico.
Mejora calidad nutricional, autosuficiencia, crea oportunidades económicas.	Sistemas hidropónicos, capacitación, acceso a mercados.

Fuente: Elaborado por los autores

#### 1.4.1 Análisis FODA

El análisis FODA identifica las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto, proporcionando una base sólida para la planificación estratégica. Este análisis es crucial para anticipar desafíos y maximizar los beneficios del proyecto.



Cuadro 1.2 Análisis FODA

<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
- Uso Eficiente de Recursos: Los sistemas hidropónicos y fotovoltaicos permiten un uso óptimo del agua y la energía solar, promoviendo la sostenibilidad.	- Acceso a Financiamiento: Disponibilidad de subvenciones y financiamiento de organismos internacionales para proyectos de energía renovable y agricultura sostenible.
- Ahorro de Agua: El sistema NFT de hidroponía puede ahorrar hasta un 90% de agua en comparación con los métodos tradicionales (Smart Garden Guide, 2023)	- Desarrollo Comunitario: Fomento del empleo y empoderamiento en las comunidades rurales mediante la capacitación y el desarrollo de nuevas habilidades.
- Reducción en las Emisiones de GEI: La implementación de sistemas fotovoltaicos reduce la emisión de gases de efecto invernadero.	- Incremento de la Seguridad Alimentaria: Mejor acceso a alimentos frescos y nutritivos.
- Mejora de la Productividad Agrícola. La integración de tecnologías solares e hidropónicas mejora la eficiencia y la producción agrícola.	- Expansión a Otras Regiones: Potencial para replicar el proyecto en otras áreas rurales con condiciones similares.
<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
- Alta Inversión Inicial: Los costos iniciales de instalación y adquisición de equipos pueden ser elevados.	- Acceso a mercados: Falta de mercado interno y competencia con productos de cultivos tradicionales.
- Necesidad de Capacitación: Requiere capacitación continua para los agricultores y técnicos locales para el manejo adecuado de los sistemas.	- Resistencia al Cambio: Posible resistencia de las comunidades locales a adoptar nuevas tecnologías y métodos agrícolas.
- Mantenimiento Técnico: Necesidad de mantenimiento regular y monitoreo.	- Variabilidad en los precios de los equipos

Fuente: Elaborado por los autores

## 1.4.2 Análisis CANVAS

El modelo CANVAS ofrece una visión integral del proyecto, abarcando los segmentos de clientes, propuesta de valor, canales, relaciones con clientes, flujos de ingresos, recursos clave, actividades clave, socios clave y estructura de costos. Este modelo ayuda a visualizar y optimizar todos los aspectos del proyecto para asegurar su éxito.

Figura 1.2 Análisis CANVAS

<b><u>Aliados</u></b>	<b><u>Actividades</u></b>	<b><u>Propuesta de Valor</u></b>	<b><u>Relación con los clientes</u></b>	<b><u>Segmentos de clientes</u></b>
Instituciones Académicas. Organizaciones Gubernamentales. ONGs. Sector Privado.	Sensibilización. Capacitación. Instalación de sistemas. Monitoreo y Evaluación.	Implementación de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos para mejorar la sostenibilidad y eficiencia agrícola, así como para generar ingresos económicos a las familias del sector rural.	Asistencia técnica continua. Visitas de seguimiento. Programas de educación y sensibilización.	Agricultores, mujeres de las comunidades rurales del cantón Piñas.
	<b><u>Recursos</u></b> Tecnología hidropónica y fotovoltaica. Profesionales técnicos. Materiales. Herramientas.		<b><u>Canales</u></b> Capacitaciones. Talleres comunitarios. Campañas de sensibilización. Dispositivos móviles.	
<b><u>Estructura de costes</u></b> Costos de instalación y mantenimiento. Costos de capacitación. Costos de monitoreo y evaluación.		<b><u>Fuentes de Ingresos</u></b> Subvenciones gubernamentales. Financiamiento ONGs nacionales y extranjeras. Alianzas con el sector privado. Venta de productos.		

Fuente: Elaborado por los autores

## **CAPÍTULO 2 REVISIÓN DE FUENTES TEÓRICAS**

La revisión de fuentes teóricas es vital para el desarrollo de cualquier proyecto de investigación, ya que permite situar el estudio en el contexto del conocimiento existente y destacar la relevancia de la investigación propuesta. En el contexto del "Programa Piloto Integral de Desarrollo Socioeconómico Rural a través de Sistemas Hidropónicos y Energía Fotovoltaica en el Cantón Piñas", la revisión de la literatura abarca varias áreas clave: la sostenibilidad agrícola, la tecnología hidropónica, la energía fotovoltaica y la integración de ambas tecnologías en entornos rurales.

### **2.1 DESARROLLO RURAL: UN ENFOQUE MULTIDIMENSIONAL PARA EL PROGRESO SOSTENIBLE**

El desarrollo rural, siendo un proceso complejo y multifacético, tiene como objetivo la mejora de la calidad de vida de las comunidades rurales mediante estrategias integrales que abordan dimensiones sociales, económicas, ambientales, institucionales y culturales (FAO, 2021). Este enfoque holístico reconoce la interconexión entre estos aspectos y busca crear un futuro sostenible para las zonas rurales.

El desarrollo rural promueve prácticas agrícolas sostenibles, como la agricultura orgánica, la agroecología y la agricultura de conservación, asegurando el acceso a alimentos y la preservación de los recursos naturales (FAO, 2021). Un ejemplo es la adopción de sistemas agroforestales en América Latina, que ha mejorado la biodiversidad y la fertilidad del suelo (Barrios, Barrios, & Pérez, 2020). Además, la diversificación de las actividades económicas rurales, incluyendo el turismo rural, la artesanía y las pequeñas empresas, es fundamental para generar ingresos y empleo decente (FAO, 2021). Iniciativas como las cooperativas rurales en África han mejorado los ingresos y el acceso a mercados internacionales (The World Bank, 2023).

El fortalecimiento de la gobernanza local es esencial para empoderar a las comunidades rurales, promoviendo la desconcentración de poder y la transparencia en la gestión local (FAO, 2021). Programas participativos en India han demostrado cómo la involucración comunitaria puede mejorar la efectividad y sostenibilidad de los proyectos de desarrollo (Chambers, 2017). El cuidado de los recursos naturales y la diversidad biológica es vital, implementando prácticas sostenibles de manejo de recursos hídricos, forestales y

energéticos (FAO, 2021). La planificación integrada de las cuencas hidrográficas en América Latina ha generado una gestión más sustentable de los recursos hídricos.

El desarrollo rural debe ser sensible a las dimensiones culturales de las comunidades, integrando sus valores, tradiciones y conocimientos locales (Chambers, 2017). La inclusión de prácticas tradicionales de manejo del paisaje en México ha resultado en la preservación de la biodiversidad y el enriquecimiento cultural (Toledo, 2013). Promover la equidad e inclusión es crucial, asegurando que todos los miembros de las comunidades, especialmente las mujeres, jóvenes y grupos minoritarios, tengan acceso a oportunidades y beneficios (FAO, 2021). En Bangladesh, programas específicos han mejorado la participación de mujeres en actividades económicas y de toma de decisiones (The World Bank, 2023)).

Los actores clave en el desarrollo rural incluyen a los gobiernos, que establecen políticas públicas e invierten en infraestructura y servicios; las ONG, que complementan la acción gubernamental; el sector privado, que invierte en producción agrícola y servicios rurales; y las comunidades rurales, que participan activamente en la identificación de necesidades y la implementación de estrategias de desarrollo.

## **2.2 SISTEMAS HIDROPÓNICOS**

La hidroponía es un método de cultivo de plantas sin suelo, utilizando soluciones nutritivas que aportan los nutrientes necesarios para un desarrollo adecuado (Jones Jr., 2016). La técnica innovadora ofrece ventajas comparadas con la agricultura tradicional.

La principal ventaja de la hidroponía es su eficiencia en el uso del agua, reduciendo el consumo hasta en un 90% en comparación con los sistemas de cultivo en suelo, gracias al uso controlado de soluciones nutritivas (Jones, 2016). En Israel, los sistemas hidropónicos han permitido cultivar en zonas áridas, optimizando el uso del agua disponible (Savvas & Gruda, 2018). Además, permite un control preciso de los nutrientes que reciben las plantas, minimizando el desperdicio y optimizando la absorción, resultando en un crecimiento más saludable y productivo (Jones, 2016).

Otra de las ventajas significativas de los sistemas hidropónicos en comparación con los cultivos tradicionales en tierra, principalmente en crecimiento y rendimiento. Las plantas cultivadas en sistemas hidropónicos crecen aproximadamente un 20% más rápido que aquellas en suelo. Además, estos sistemas suelen producir al menos un 25% más de cosecha

que los métodos tradicionales en tierra (Wachjoe, y otros, 2022). Además, se reduce la incidencia de plagas y enfermedades al eliminar el contacto de las raíces con el suelo, un medio común para la proliferación de patógenos (Jones, 2016). Por último, es versátil y escalable, adaptándose a una amplia variedad de cultivos y pudiendo implementarse en diferentes escalas, desde pequeños huertos caseros hasta grandes producciones comerciales (Jones, 2016).

Existen varios tipos de sistemas hidropónicos, incluyendo el sistema de flujo continuo, donde las soluciones nutritivas circulan constantemente a través del sistema radicular de las plantas; el sistema de recirculación, que reutiliza las soluciones nutritivas después de tratarlas; la técnica de película de nutrientes (NFT Nutrient Film Technique), que utiliza una delgada película de solución nutritiva; y el sistema aeropónico, donde las raíces se rocían con una solución nutritiva en el aire (Jones, 2016); (Savvas & Gruda, 2018).

Además de las ventajas económicas, la hidroponía contribuye positivamente al medio ambiente, reduciendo el uso de agua y nutrientes, minimizando la contaminación del suelo y promoviendo una agricultura sostenible (Jones, 2016). Su implementación en áreas urbanas favorece la reducción de la huella de carbono y mejora la seguridad alimentaria (Kozai, Niu, & Takagaki, 2020)

Existen seis tipos principales de sistemas hidropónicos que se detallan a continuación:

1. Sistemas de mecha
2. Cultivo en agua profunda (DWC)
3. Técnica de película de nutrientes (NFT)
4. Flujo y reflujo (inundación y drenaje)
5. Aeroponía
6. Sistemas de goteo

En el presente trabajo, se ha decidido utilizar el sistema NFT (Nutrient Film Technique) para la implementación de sistemas hidropónicos. El sistema NFT se selecciona por varias razones:

- Es un sistema eficiente en el uso de agua y control de nutrientes lo que lo convierte en una opción ideal para regiones con escasez de agua. Este sistema recircula una solución nutritiva a través de canales donde las raíces de las plantas están

suspendidas, lo que reduce significativamente el desperdicio de agua y nutrientes (Ponicslife, 2023).

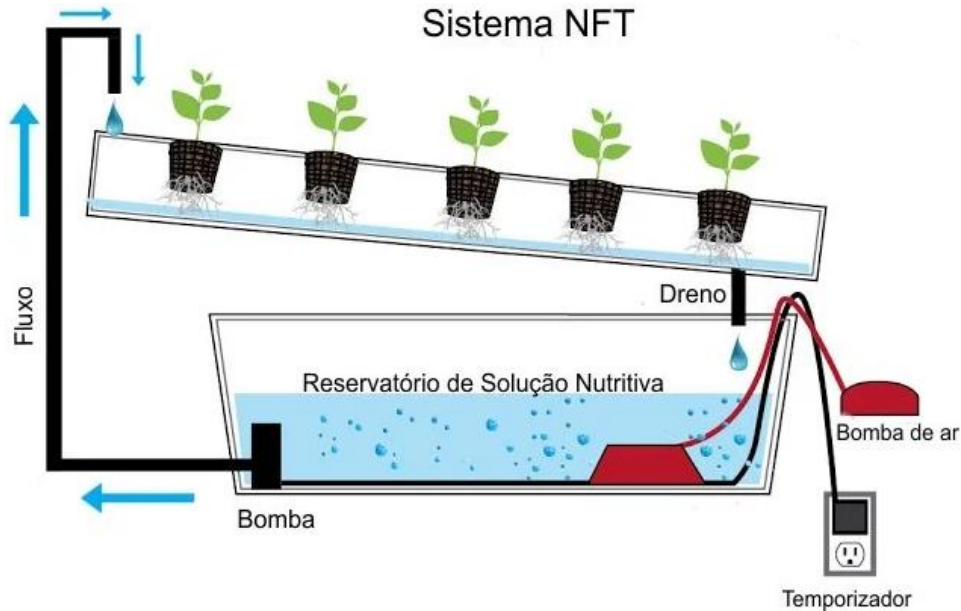
- Además, el sistema NFT es fácil de construir y mantener. Puede ser montado con materiales asequibles y adaptado a diferentes espacios y tipos de plantas. La constante circulación de la solución nutritiva también elimina la necesidad de aeración adicional en el depósito, simplificando aún más su mantenimiento (Smart Garden Guide, 2023).
- El sistema NFT proporciona condiciones óptimas para el rápido crecimiento y alta productividad de los cultivos. Esto permite maximizar la producción en un espacio reducido, lo cual es crucial para el desarrollo de proyectos agrícolas avanzados en áreas rurales con limitaciones de espacio y recursos (WhyFarmIt, 2023)

Los componentes principales de un sistema NFT son:

- **Solución nutritiva:** La solución nutritiva es una mezcla de agua y nutrientes esenciales que las plantas necesitan para crecer. Esta solución debe ser preparada y ajustada regularmente para mantener los niveles adecuados de nutrientes.
- **Canaletas de cultivo:** Las canaletas son canales inclinados donde se colocan las plantas. Están diseñadas para que una capa de solución nutritiva fluya continuamente sobre las raíces de las plantas. Las canaletas suelen estar hechas de PVC u otros materiales no reactivos.
- **Reservorio:** El reservorio es el contenedor que almacena la solución nutritiva. Esta solución, que contiene los nutrientes esenciales disueltos en agua necesarios para el crecimiento de las plantas, tiene un tamaño de reservorio que varía con el sistema y el número de plantas cultivadas.
- **Bomba hídrica:** Es un componente crucial que impulsa la solución nutritiva desde el reservorio hacia las canaletas.
- **Tuberías de distribución:** Las tuberías de distribución conectan la bomba de agua con las canaletas de cultivo. Estas tuberías permiten que la solución nutritiva se distribuya uniformemente a lo largo de todas las canaletas.
- **Tuberías de retorno:** Las tuberías de retorno recogen la solución nutritiva que ha pasado por las raíces de las plantas y la devuelven al reservorio. Este ciclo continuo asegura que las plantas reciban un suministro constante de nutrientes frescos.

- **Temporizador:** Regula los ciclos de encendido y apagado de la bomba de agua, garantizando un flujo adecuado de la solución nutritiva.

Figura 2.1 Componentes de un sistema hidropónico NFT



Fuente: <https://in-outdoor.com.br/blog/o-sistema-nft-hidroponia/>

### 2.3 SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La introducción de sistemas fotovoltaicos solares en regiones rurales ha probado ser una solución efectiva y sostenible para abordar las dificultades de acceso a la energía. En entornos rurales, donde la infraestructura eléctrica es escasa o inexistente, los paneles solares fotovoltaicos pueden ofrecer una fuente de energía renovable y confiable. Según (Wachjoe, y otros, 2022).

Los sistemas solares en zonas rurales no solo contribuyen a reducir la dependencia de combustibles fósiles, sino que también permiten a las comunidades acceder a tecnologías agrícolas avanzadas. Por ejemplo, el uso de paneles solares para alimentar sistemas de riego en cultivos hidropónicos ha demostrado ser altamente eficaz, reduciendo significativamente los costos operativos y aumentando la productividad agrícola (Putera, Gunawan, & Pranoto, 2015). Este tipo de integración resulta especialmente beneficioso en áreas con alta radiación solar, como numerosas regiones rurales en naciones en desarrollo, donde la energía solar puede captarse eficazmente para uso agrícola y doméstico (Akom, Etwire, & Dogbe, 2019).

No obstante, llevar a cabo estos sistemas presenta ciertos desafíos. Los costos iniciales de instalación pueden resultar altos, y es necesario contar con una infraestructura

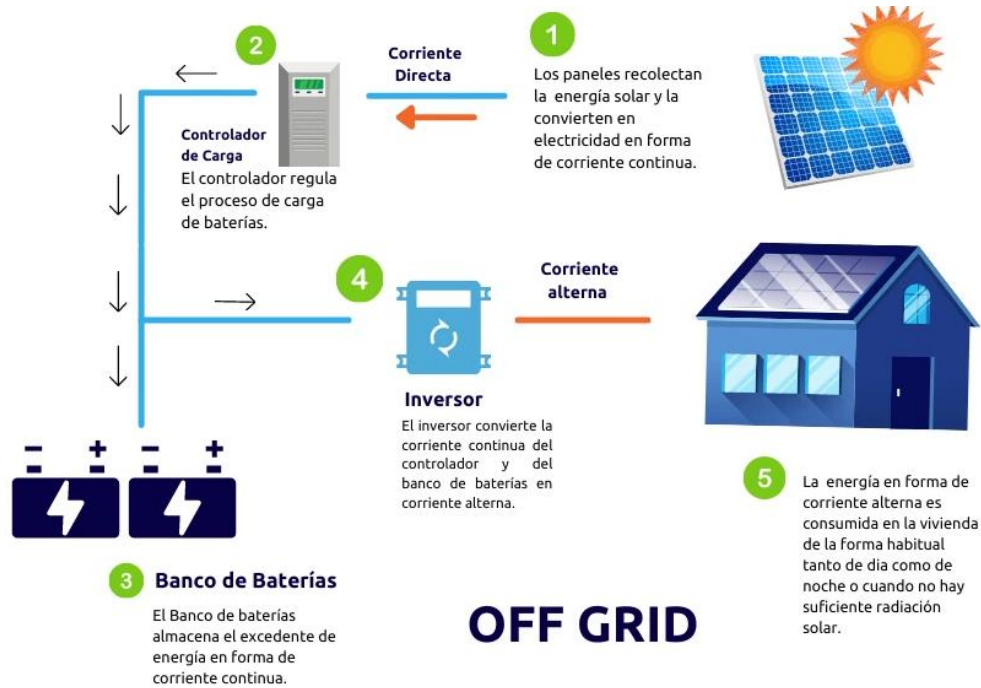
adecuada para maximizar la eficiencia de los paneles solares y garantizar un suministro continuo de energía. Además, la variabilidad en la radiación solar y las condiciones climáticas locales deben considerarse cuidadosamente al diseñar y operar sistemas fotovoltaicos. A pesar de estos desafíos, los beneficios a largo plazo en cuanto a sostenibilidad ambiental y desarrollo socioeconómico hacen que invertir en energía fotovoltaica sea una opción prometedora para las comunidades rurales (Wachjoe, y otros, 2022); (Putera, Gunawan, & Pranoto, 2015).

Un sistema de energía solar aislado, también llamado sistema fotovoltaico independiente u OFF GRID, es una solución de energía solar autónoma que no está conectada a la red eléctrica convencional. Este tipo de sistema es perfecto para zonas alejadas o lugares donde no hay acceso a la red eléctrica pública. Los elementos principales de un sistema fotovoltaico aislado incluyen:

- **Paneles Solares (Módulos Fotovoltaicos):** Estos son el componente principal del sistema y tienen la función de convertir la luz solar en electricidad, generando corriente continua (CC). Están compuestos por células fotovoltaicas elaboradas con materiales semiconductores, como el silicio.
- **Controlador de Carga:** Su tarea es regular el flujo de energía procedente de los paneles solares hacia las baterías. Su función primordial es prevenir la sobrecarga y la descarga excesiva de las baterías, lo que protege y prolonga su vida útil. Se pueden encontrar dos tipos principales: los controladores de carga PWM (modulación por ancho de pulsos) y los MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia).
- **Baterías de Almacenamiento de Energía:** Estas baterías almacenan la energía producida por los paneles solares para su uso posterior, especialmente durante la noche o en días nublados. Las baterías de ciclo profundo, como las de plomo-ácido, de iones de litio y las de gel, son comunes en estos sistemas.
- **Inversor:** Transforma la corriente continua (CC) almacenada en las baterías en corriente alterna (CA), que es el tipo de electricidad utilizado por la mayoría de los electrodomésticos y dispositivos. En sistemas autónomos, se prefieren los inversores de onda sinusoidal pura para garantizar una salida de energía de alta calidad.



Figura 2.2 Componentes de un sistema de energía fotovoltaica



Fuente: <https://grupoluminica.com/sistemas-solares-off-grid/>

## 2.4 INTEGRACIÓN DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS Y FOTOVOLTAICOS.

Lo que se plantea dentro de la propuesta es el desarrollo de un sistema que integre la energía solar y la hidroponía para crear una solución sostenible y eficiente para la agricultura en áreas rurales. Este sistema combina las ventajas de los sistemas hidropónicos y la energía fotovoltaica para la mejora en la productividad agrícola de la mano de la sostenibilidad ambiental.

La hidroponía es la técnica que posibilita el cultivo de plantas sin tierra mediante soluciones nutritivas, se complementa a la perfección con la energía solar, que suministra la electricidad necesaria para hacer funcionar estos sistemas de forma autónoma sin depender de la red eléctrica convencional. Según investigaciones recientes, esta integración puede resultar especialmente beneficiosa en zonas rurales con acceso limitado a la electricidad (Wachjoe, y otros, 2022).

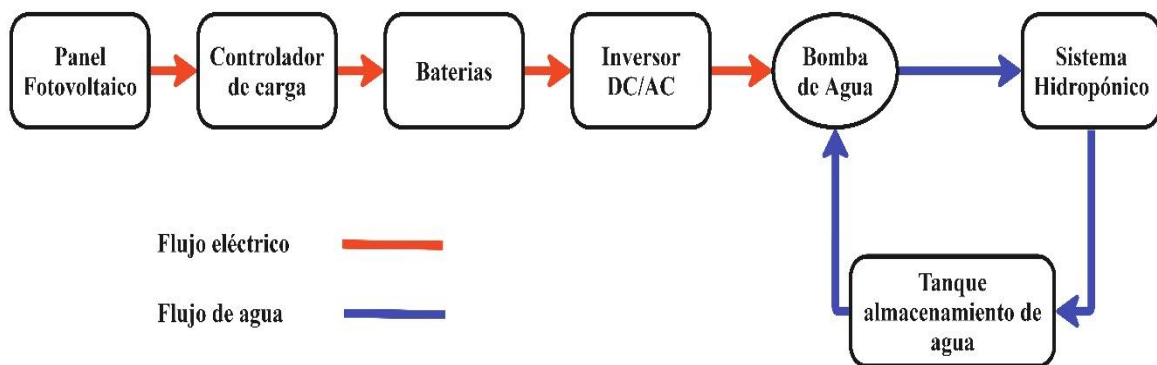
Los paneles solares han demostrado ser una fuente fiable y sostenible de energía, adaptada a las áreas rurales. Por ejemplo, en Indonesia, la adopción de sistemas hidropónicos impulsados por energía solar ha mostrado reducir los gastos operativos y favorecer la viabilidad económica de las actividades agrícolas (Putera, Gunawan, & Pranoto, 2015).

Al ofrecer una fuente de ingresos sostenible por la venta de productos agrícolas cultivados en el sistema hidropónico y mejorar el acceso a alimentos frescos y nutritivos, estas tecnologías innovadoras incidirían de forma significativa en la calidad de vida de las familias rurales (Shaffer, y otros, 2014). La investigación sugiere que la combinación de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos podría representar una solución prometedora para hacer frente a los retos económicos y medioambientales en las zonas rurales (Wiens, 2021).

Los paneles solares son el componente principal del sistema de energía, capturando la energía del sol durante el día y convirtiéndola en electricidad. Esta electricidad se utiliza para alimentar la bomba de circulación del sistema hidropónico y otros dispositivos necesarios para su funcionamiento.

Debido a la cantidad limitada de luz solar disponible<sup>2</sup>, en días nublados, la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos disminuye al 10-25% de su capacidad normal, y durante la noche no producen energía debido a la ausencia de luz solar (EcoWatch, 2024), es esencial contar con baterías de almacenamiento de energía eléctrica. Las baterías garantizan que el exceso de energía generada durante el día pueda ser almacenado para su uso nocturno, asegurando que la bomba de circulación de la solución nutritiva del sistema hidropónico tenga un suministro constante de electricidad. Esto garantiza un flujo continuo tanto de nutrientes y agua, ambos necesarios para el crecimiento óptimo de los cultivos.

Figura 2.3 Diagrama de bloques del sistema de integración fotovoltaico-hidropónico



Fuente: Elaborado por los autores

<sup>2</sup> Los sistemas fotovoltaicos convierten la energía solar en electricidad mediante celdas solares, funcionando únicamente durante las horas de luz solar disponible. Este proceso aprovecha los fotones de la luz solar para generar una corriente eléctrica continua.

## **2.5 IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE TECNOLOGÍAS INNOVADORAS EN AGRICULTURA**

La combinación de sistemas hidropónicos y energía solar en el desarrollo rural puede tener impactos positivos significativos en la economía y la sociedad. Esta unión puede incrementar la productividad agrícola al brindar condiciones ideales para el crecimiento de los cultivos, reduciendo así los costos asociados con el riego y la energía (Albright, Gonzalez, & Healy, 2019). Además, la introducción de estas tecnologías innovadoras genera oportunidades laborales en la instalación, mantenimiento y operación de los sistemas, así como en actividades comerciales relacionadas como la venta de productos frescos y servicios técnicos especializados (Albright, Gonzalez, & Healy, 2019).

El mejoramiento de la producción agrícola y diversificación de las actividades económicas contribuyen a aumentar los ingresos de las familias rurales, asegurando un mayor acceso a alimentos frescos y nutritivos, lo que mejora tanto la seguridad alimentaria como nutricional. Además, adoptar tecnologías novedosas refuerza la capacidad de las comunidades rurales para gestionar sus propios recursos y mejorar su calidad de vida, promoviendo un sentimiento de empoderamiento y autonomía (Albright, Gonzalez, & Healy, 2019).

Asimismo, se requiere establecer programas para la formación y asistencia técnica de los agricultores, que abarquen la capacitación en el manejo y mantenimiento de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos, así como la administración de negocios agrícolas sostenibles (Albright, Gonzalez, & Healy, 2019). Promover modelos empresariales inclusivos que permitan la participación de pequeños agricultores y comunidades rurales es esencial. Esto puede implicar la creación de cooperativas y asociaciones que faciliten el acceso a recursos, mercados y conocimientos técnicos (The World Bank, 2023).

## **2.6. RECAPITULACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ESTUDIOS PREVIOS**

Para el desarrollo de la propuesta del "Programa Piloto Integral de Desarrollo Socioeconómico Rural a través de Sistemas Hidropónicos y Energía Fotovoltaica en el cantón Piñas" se construye sobre una exhaustiva revisión de la literatura que explora el desarrollo rural, sistemas hidropónicos y la energía fotovoltaica, destacando cómo su integración puede mejorar la productividad y sostenibilidad en comunidades rurales.

El informe sobre el estado de la alimentación y agricultura de 2017 (FAO, 2017) destaca la importancia de adoptar tecnologías innovadoras en la agricultura para incrementar la eficiencia y sostenibilidad en zonas rurales. En el informe anual de 2020 sobre energía renovable y empleos (IRENA, 2020) muestra el impacto positivo de la energía renovable, especialmente solar, en la generación de puestos de trabajo y en el crecimiento económico en entornos rurales. Por otro lado, "Hydroponic Food Production" de (Resh, 2022) nos brinda una visión profunda sobre los sistemas hidropónicos, resaltando su efectividad en la utilización óptima de recursos como agua y nutrientes, siendo una alternativa sostenible en áreas con suelo menos fértil o limitaciones de espacio y agua

El informe: Una Revisión de la Hidroponía y la Agricultura Convencional Basada en el Consumo de Energía y Agua, el Impacto Ambiental y el Uso del Suelo (Pomoni, Koukou, Vrachopoulos, & Vasiliadis, 2023) nos ofrece una evaluación detallada de los sistemas hidropónicos y su impacto ambiental, relevante para el proyecto de desarrollo socioeconómico rural en el cantón Piñas. Además, en Enfoques Innovadores en los Sistemas de Agricultura de Pequeños Productores para Implementar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Roop, Weaver, Fonseca, & Matouq, 2022) examinan diversas innovaciones agrícolas a pequeña escala, incluyendo hidroponía y energía renovable, destacando su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

(Shaffer, y otros, 2014) desarrollaron un sistema acuapónico<sup>3</sup> alimentado por energía fotovoltaica, demostrando que puede operar de manera autosuficiente y producir vegetales saludables, aunque se requiere más desarrollo para su comercialización. (Wachjoe, y otros, 2022) evaluaron la sostenibilidad económica de sistemas hidropónicos integrados con fotovoltaicos en Indonesia, encontrando que pueden reducir el lapso de retorno de la inversión y maximizar los beneficios económicos, siendo una opción viable para la agricultura sostenible. (Wiens, 2021) analizó el impacto de la globalización en pequeños agricultores en Haití y Jamaica, concluyendo que la adopción de sistemas hidropónicos flotantes podría mejorar la seguridad alimentaria y la resiliencia ante desastres climáticos extremos.

---

<sup>3</sup> Un sistema acuapónico es un método de sistema hidropónico que combina la cría de peces y el cultivo de plantas en un entorno integrado, utilizando los desechos de los peces como nutrientes para las plantas. A diferencia de los sistemas hidropónicos NFT, que dependen de soluciones nutritivas añadidas manualmente, la acuaponía requiere el cuidado tanto de plantas como de peces. Ambos sistemas son eficientes en el uso del agua y permiten el cultivo sin suelo.

(Sengodan, 2022) exploró la viabilidad de la agricultura vertical en edificios altos en Malasia, concluyendo que puede mejorar la seguridad alimentaria en áreas urbanas mediante el uso eficiente de espacios y recursos naturales. (Putera, Novita, Laksmana, Hamid, & Syafii, 2015) desarrollaron un sistema hidropónico alimentado por energía solar en Indonesia, concluyendo que es viable y sostenible como solución en la agricultura rural, aunque se requiere optimización continua. Finalmente, (Izuka, y otros, 2023) revisaron aplicaciones de energía solar en el desarrollo rural, evidenciando cómo las soluciones fotovoltaicas pueden fortalecer el desarrollo económico y social en las comunidades rurales.

## **2.7. INVESTIGACIÓN PREVIA Y SU IMPACTO EN EL PROYECTO**

La investigación previa ha sido determinante para desarrollar el proyecto propuesto, especialmente en la comprensión de las tecnologías hidropónicas y fotovoltaicas y su aplicación en entornos rurales.

Una ventaja de los estudios previos es su atención a la factibilidad técnica y económica de los sistemas hidropónicos y fotovoltaicos, proporcionando datos sólidos sobre su eficacia y beneficios potenciales. Sin embargo, una limitación común es la falta de atención a los aspectos sociales y culturales de la implementación de estas tecnologías, lo que puede afectar su aceptación y éxito en comunidades rurales específicas.

La presente investigación abordará estas brechas al integrar un enfoque mixto que considera tanto los aspectos técnicos como los sociales y económicos. Se buscará comprender en profundidad el contexto local, determinando las necesidades y expectativas de las comunidades rurales. Esto permitirá diseñar un programa piloto que no solo sea técnicamente viable y económicamente sostenible, sino también culturalmente adecuado y socialmente aceptado.

Según (Wachjoe, y otros, 2022), la implementación de un sistema fotovoltaico e hidropónico integrado en zonas rurales de Indonesia para el cultivo de col rizada mostró un periodo retorno de la inversión (PBP) de 13.5 meses, un flujo de caja acumulada (CCP) de 1.84 y una tasa de rentabilidad de la inversión (ROI) de 8.01%. Además, al añadir el segundo y tercer módulos adicionales de plantas hidropónicas, el PBP se redujo a 6.2 y 5.2 meses, el CCP aumentó a 3.68 y 5.2, mientras que el ROI aumentó a 11.43% y 13.34% respectivamente.

## **CAPÍTULO 3 ENFOQUE METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

En este capítulo se presenta el enfoque metodológico adoptado para llevar a cabo la investigación del "Programa Piloto Integral de Desarrollo Socioeconómico Rural a través de Sistemas Hidropónicos y Energía Fotovoltaica en el Cantón Piñas".

### **3.1 CAPTURA DE DATOS Y/O RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

La metodología propuesta para el "Programa Piloto Integral de Desarrollo Socioeconómico Rural agrícola a través de Sistemas Hidropónicos y Energía Fotovoltaica en el cantón Piñas" adopta un enfoque mixto que integra técnicas cuantitativas y cualitativas. Este enfoque está diseñado para desarrollar una guía metodológica detallada y adaptable, capaz de aplicarse a diferentes contextos geográficos y socioeconómicos.

En el análisis técnico, se revisarán estudios detallados sobre los sistemas hidropónicos y fotovoltaicos, examinando sus especificaciones, requerimientos operativos, eficiencia, costos, beneficios y la viabilidad de su integración. Esta información es crucial para estimar los recursos necesarios, definir los parámetros de diseño y asegurar tanto la sostenibilidad como la eficacia del sistema propuesto.

En cuanto al análisis cualitativo, se explorará el contexto en el que se implementarán estos sistemas, considerando elementos culturales, sociales y económicos que podrían afectar su aceptación y éxito. Se realizarán análisis de contenido de documentación existente y estudios de caso de implementaciones anteriores en entornos rurales.

La integración de métodos cuantitativos y cualitativos permitirá desarrollar una metodología comprensiva que incluya tanto las especificaciones técnicas de los sistemas hidropónicos y fotovoltaicos como las dinámicas sociales y económicas de las comunidades rurales. Este enfoque busca asegurar que el diseño del programa sea práctico, viable y tenga un impacto positivo en la calidad de vida y economía de las comunidades rurales.

### **3.2 OBSTÁCULOS Y LIMITACIONES**

Algunos posibles obstáculos y limitaciones que podrían afectar esta investigación incluyen:

- Disponibilidad de datos: Puede ser difícil obtener datos actualizados y completos sobre la situación socioeconómica y agrícola de las comunidades rurales en el cantón Piñas.
- Acceso a tecnología: La implementación de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos puede verse limitada por la disponibilidad y accesibilidad de esta tecnología en áreas rurales.
- Participación comunitaria: La aceptación y participación de las comunidades rurales en el programa piloto pueden verse afectadas por factores culturales, sociales y económicos.

Para abordar estos desafíos, se planea:

- Establecer colaboraciones con instituciones locales y organizaciones comunitarias para facilitar el acceso a datos y recursos tecnológicos.
- Realizar un análisis exhaustivo de la disponibilidad y accesibilidad de la tecnología necesaria, identificando posibles proveedores y recursos alternativos.
- Implementar estrategias de participación comunitaria, como talleres informativos y consultas públicas, que fomenten tanto la comprensión como el apoyo por parte de las comunidades rurales hacia el programa piloto.

Es esencial considerar que estos desafíos y limitaciones pueden influir en la validez y generalización de los resultados obtenidos. Se buscará reducir estos impactos mediante un enfoque transparente y minucioso en la recolección, análisis e interpretación de datos, así como en la presentación de los resultados y conclusiones del estudio.

## CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DEL PROYECTO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Este análisis abarca la planificación y operación de los sistemas, la evaluación de su factibilidad técnica, ambiental y económica, y la estructuración del proyecto. Además, se interpretan los resultados obtenidos, vinculándolos con el contexto político y organizacional actual, y se discuten sus implicaciones para futuras investigaciones y políticas públicas.

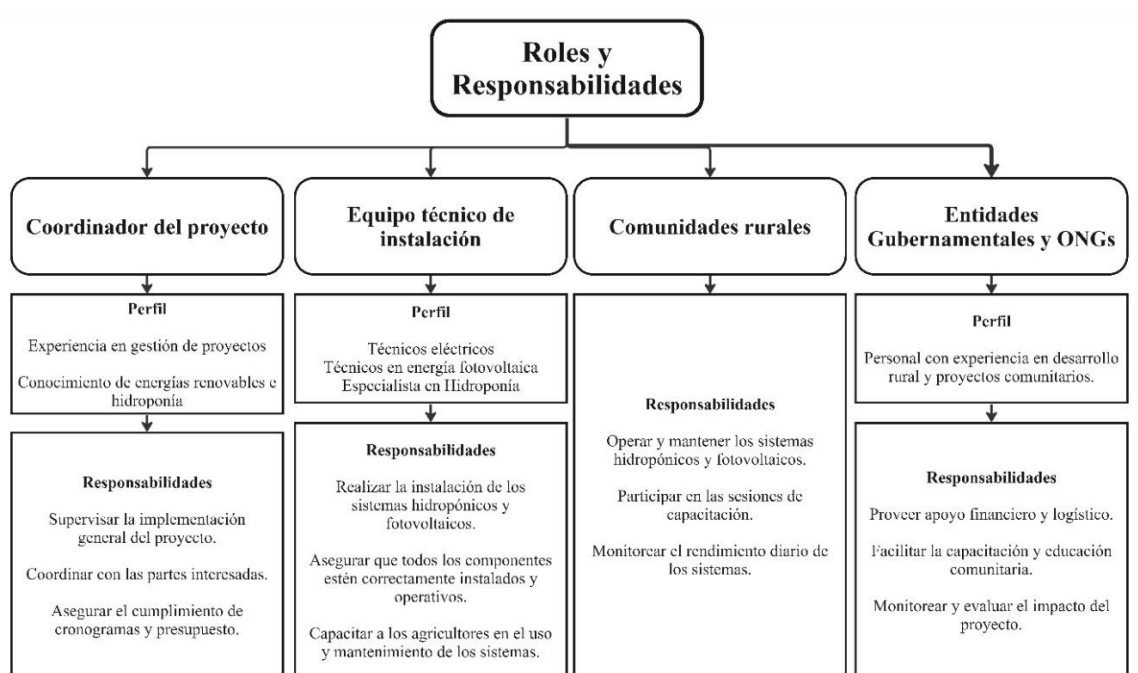
### 4.1 PLAN DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS Y SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN COMUNIDADES RURALES

El plan abarca la asignación de funciones y responsabilidades, plazos, recursos requeridos y métodos de supervisión y evaluación, garantizando que el proyecto sea efectivo, sustentable y provechoso para las comunidades rurales.

#### 4.1.1 Definición de roles y responsabilidades.

Esta sección describe los roles y responsabilidades claves, identificando al coordinador del proyecto, el equipo técnico, los agricultores locales, y las entidades gubernamentales y ONG, destacando sus funciones y su importancia para el proyecto.

Figura 4.1 Roles y responsabilidades



Fuente: Elaborado por los autores



#### 4.1.2 Cronograma

Se presenta un cronograma detallado que incluye las principales etapas del proyecto: evaluación inicial y diagnóstico, diseño del sistema, adquisición de materiales, instalación, capacitación, monitoreo y ajustes, y operación continua. Cada actividad está claramente definida con su respectivo responsable, duración, y fechas de inicio y finalización.

Cuadro 4.1 Cronograma

<b>TRABAJO</b>	<b>SUPERVISA</b>	<b>PLAZO</b>
Evaluación de inicio y diagnóstico	Coordinador	3 semanas
Diseño detallado del sistema	Equipo Técnico	1 semana
Adquisición de materiales y equipos	Coordinador del Proyecto	1 semana
Instalación de sistemas hidropónicos	Equipo Técnico	2 semanas
Instalación de sistemas fotovoltaicos	Equipo Técnico	2 semanas
Capacitación de agricultores	Equipo Técnico	2 semanas
Monitoreo inicial y ajustes	Coordinador del Proyecto, Equipo Técnico	2 semanas
Operación y mantenimiento continuo	Comunidades rurales	Continuo
Evaluación Bimestral del proyecto	Entidades Gubernamentales, ONG	2 meses

Fuente: Elaborado por los autores

#### 4.1.3 Recursos necesarios

En esta sección se detallan los recursos esenciales para cada fase del proyecto, asegurando que todas las actividades se realicen de manera eficiente y efectiva. Los recursos humanos incluyen a profesionales con experiencia en gestión de proyectos, ingeniería eléctrica, tecnología solar y sistemas hidropónicos. Los expertos tendrán un papel muy importante para instalar, operar y mantener los sistemas y entrenar a los agricultores locales.

Además, se requiere una variedad de materiales y equipos, desde paneles solares y estructuras de montaje, hasta componentes específicos para sistemas hidropónicos, como bombas, tanques y soluciones nutritivas. La adquisición de estos materiales es fundamental para instalar y operar los sistemas propuestos.

El presupuesto del proyecto también juega un papel vital. Es necesario estimar con precisión los costos de cada componente del proyecto, desde la adquisición de equipos hasta los gastos operativos continuos. Identificar y asegurar fuentes de financiamiento, como subvenciones gubernamentales, donaciones de ONG e inversión privada, es crucial para garantizar la viabilidad financiera del proyecto.

Cuadro 4.2 Recursos para la ejecución del proyecto

<b>RECURSOS HUMANOS</b>	<b>MATERIALES Y EQUIPOS</b>	<b>PRESUPUESTO</b>
Coordinador del proyecto. Ingeniero eléctricos. Técnicos en energía fotovoltaica. Especialista en hidroponía. Comunidades rurales. Entidades gubernamentales. ONG.	Paneles solares y estructuras. Inversores y controladores de carga. Baterías de almacenamiento. Componentes de sistemas hidropónicos (canaletas, bombas, tanques, solución nutritiva, temporizador, estructuras de soporte). Herramientas y equipos para instalación. Materiales educativos y de capacitación.	Dependiendo del tamaño del proyecto y la escala de implementación.

Fuente: Elaborado por los autores

#### **4.1.4 Seguimiento y evaluación**

Los sistemas de monitoreo y evaluación son cruciales para supervisar el avance del proyecto, identificar áreas de mejora y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

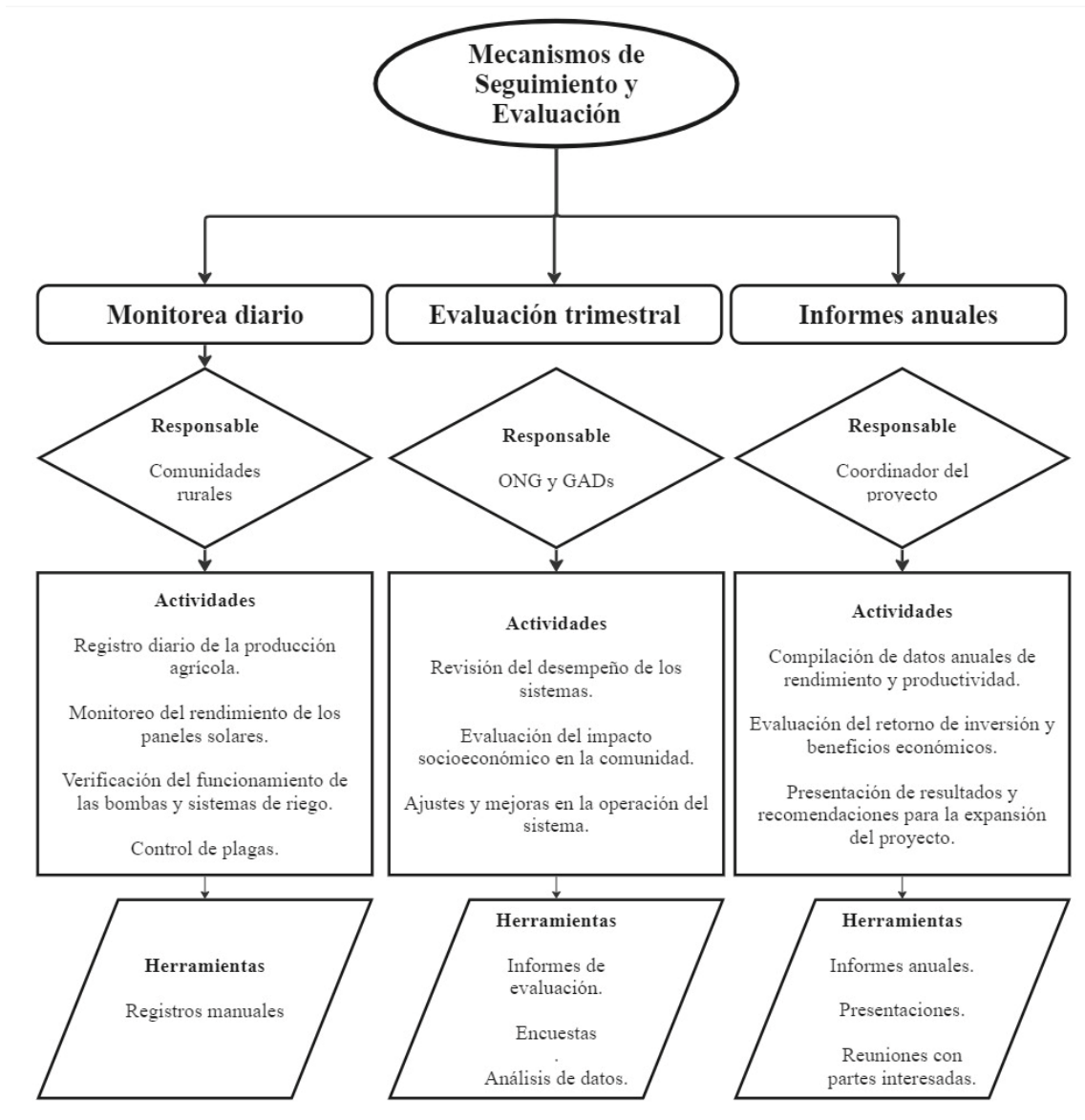
El seguimiento incluye el monitoreo diario de la producción agrícola, el rendimiento de los paneles solares y el funcionamiento de las bombas y sistemas de riego. Los agricultores locales desempeñarán un papel clave en esta etapa, manteniendo registros detallados para asegurar el funcionamiento óptimo de los sistemas.

La evaluación periódica, por su parte, permite una revisión más profunda del impacto del proyecto en la comunidad. Las evaluaciones trimestrales y anuales proporcionan una oportunidad para analizar los datos recopilados, medir los beneficios socioeconómicos

y ambientales, y realizar ajustes necesarios para mejorar el rendimiento del proyecto. Entidades gubernamentales y ONG serán responsables de llevar a cabo estas evaluaciones, utilizando métodos de análisis rigurosos y participativos.

La implementación de mecanismos de retroalimentación y mejora continua es crucial para adaptarse a las condiciones cambiantes y maximizar los beneficios del proyecto.

Figura 4.2 Mecanismos de seguimiento y evaluación



Fuente: Elaborado por los autores

## **4.2 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICA PARA ESTABLECER SISTEMAS HIDROPÓNICOS Y DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN COMUNIDADES RURALES.**

Es crucial realizar una evaluación exhaustiva que contemple la viabilidad técnica, ambiental y económica antes de llevar a cabo la implementación. Esta evaluación garantiza que los recursos se empleen de manera eficiente y que el proyecto genere un impacto positivo y sostenible.

Este análisis se enfocará en factores esenciales como el acceso a fuentes hídricas, luz solar y los costos de implementación y mantenimiento. La viabilidad técnica examinará la capacidad de las infraestructuras y tecnologías propuestas para operar eficazmente en el entorno rural. La viabilidad ambiental evaluará los impactos sobre el ecosistema y los beneficios de adoptar prácticas sostenibles. La viabilidad económica analizará la inversión inicial, los costos operativos y los beneficios financieros a largo plazo. A través de esta evaluación detallada, se busca garantizar que el proyecto no solo sea factible, sino también beneficioso para las comunidades rurales del cantón Piñas.

### **4.2.1 Viabilidad técnica**

La factibilidad técnica de la adopción de sistemas hidropónicos y de energía fotovoltaica en áreas rurales del cantón Piñas se evalúa mediante el análisis de varios factores críticos: disponibilidad de agua, irradiación solar, y costos de implementación y mantenimiento.

- **Disponibilidad de Agua:**

Los sistemas hidropónicos, específicamente el sistema de técnica de película de nutrientes (NFT) está diseñado para operar en un circuito cerrado, utilizando un tanque de reservorio. Esto permite recircular y reutilizar el agua, reduciendo significativamente el consumo y asegurando un suministro constante incluso en períodos secos, según lo revisado en la literatura, este sistema permite ahorrar agua en un 90 % en comparación con los sistemas de cultivo en suelo. Con la implementación de este sistema de gestión eficiente del agua, este aspecto se considera viable.

- **Irradiación Solar:**

Los sistemas de energía fotovoltaica dependen de una buena irradiación solar para generar electricidad de manera eficiente. Para determinar la radiación solar sobre

determinada área se lo mide mediante las horas solares pico (HSP), este dato es crucial para evaluar la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos. Las HSP representan la cantidad de horas en un día en que la irradiancia solar es equivalente a un valor estándar de 1000 W/m<sup>2</sup>.

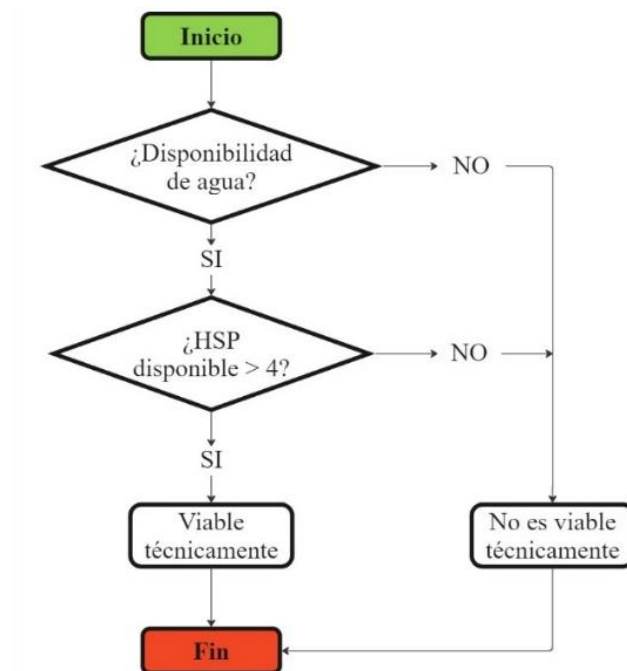
De acuerdo con los datos obtenidos en el software PVSYST (Software especializado en simulación solar, que se utiliza para el diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos), se obtuvo que en el cantón Piñas las horas solares pico en promedio es de 5.2 HSP.

El sitio web de NASA POWER (NASA, s.f.), estima que en el cantón Piñas las HSP están alrededor de 5.0 a 5.5.

De acuerdo a (IRENA, 2020) las regiones con 4 a 6 HSP diarias son altamente adecuadas para la implementación de sistemas fotovoltaicos, garantizando un retorno de inversión atractivo y una producción de energía sostenida.

La luz solar no solo es fundamental para la generación de energía en sistemas fotovoltaicos, sino que también es crucial para el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de la fotosíntesis. En los sistemas hidropónicos, donde las plantas crecen sin suelo, la disponibilidad adecuada de luz solar es esencial para maximizar el rendimiento y la calidad de los cultivos.

Figura 4.3 Diagrama de flujo para análisis de la viabilidad técnica



Fuente: Elaborado por los autores

#### **4.2.2 Viabilidad ambiental.**

La evaluación de la instalación de sistemas hidropónicos y de energía solar en zonas rurales no solo debe centrarse en aspectos técnicos y económicos, sino también en consideraciones ambientales. La sustentabilidad medioambiental de dichos sistemas se examina teniendo en cuenta su influencia en la utilización sostenible de los recursos naturales, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y su aporte a la preservación del entorno.

- **Uso eficiente del agua.**

Los sistemas hidropónicos, especialmente los sistemas NFT (Nutrient Film Technique), operan en un circuito cerrado que permite la recirculación y reutilización del agua. En comparación con los métodos de cultivo tradicionales disminuye el consumo de agua.

Según la (FAO, 2013), los sistemas hidropónicos pueden ahorrar hasta un 90% de agua en comparación con los sistemas de cultivo en suelo, lo que contribuye a la conservación de recursos hídricos.

- **Reducción por contaminación de pesticidas.**

Los sistemas hidropónicos utilizan soluciones nutritivas controladas, lo que reduce la necesidad de pesticidas y herbicidas. La disminución del uso de pesticidas reduce la contaminación del suelo y el agua, mejorando la salud ambiental y la biodiversidad local.

- **Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.**

Los sistemas fotovoltaicos generan electricidad sin generar gases de efecto invernadero (GEI), a diferencia de las energías basadas en combustibles fósiles. Según la International Renewable Energy Agency (IRENA, 2020), la adopción de energía solar puede disminuir significativamente la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

- **Impacto en la biodiversidad y el uso del suelo.**

Los sistemas hidropónicos son altamente eficientes en el uso del suelo, permitiendo cultivar en áreas donde la tierra es limitada o no adecuada para la agricultura tradicional. Según (Jensen, 2010), los sistemas hidropónicos pueden producir rendimientos mucho

mayores en comparación con los cultivos en suelo, utilizando menos espacio. Esta eficiencia del uso del suelo es beneficiosa en áreas rurales con tierra agrícola limitada o de baja calidad.

Estudios como los realizados por (Theocharis Tsoutsos, 2005) indican que la planificación adecuada de instalaciones solares puede minimizar el impacto en la biodiversidad y optimizar el uso del suelo.

- **Sinergia entre hidroponía y energía fotovoltaica.**

La combinación de sistemas hidropónicos con energía fotovoltaica permite un uso óptimo de los recursos solares, mejorando tanto la eficiencia energética como la productividad agrícola. Este enfoque integrado reduce la dependencia de fuentes no renovables y mejora la sostenibilidad en las prácticas agrícolas.

Cuadro 4.3 Análisis de viabilidad ambiental

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>
Uso eficiente del agua.	Viable, ya que promueve el uso eficiente del agua y reduce el desperdicio.
Reducción de contaminación por pesticidas	Viable, debido a la disminución de contaminación química.
Reducción de emisiones de gases de invernadero	Viable, ya que reduce las emisiones de GEI y apoya los objetivos climáticos globales.
Impacto en la biodiversidad y el uso del suelo	Viable, con una planificación adecuada que minimice el impacto en la biodiversidad.
Sinergia entre hidroponía y energía fotovoltaica	Viable, ya que maximiza los beneficios ambientales y promueve la sostenibilidad.

Fuente: Elaborado por los autores

### 4.2.3 Viabilidad económica

El análisis económico en un programa de política pública es un proceso integral que busca evaluar la eficiencia, sostenibilidad y viabilidad del programa. Este análisis es fundamental para asegurar que los recursos públicos se utilicen de manera efectiva y que el programa logre sus objetivos socioeconómicos:

- Costos de implementación.
- Costos operativos y de mantenimiento.

- Beneficios económicos y sociales.
- Retorno de inversión.
- Análisis de sensibilidad.

En el presente análisis se evaluará la viabilidad económica de implementación del sistema hidropónico para un cultivo de 120 plantas<sup>4</sup> en el área de 1 m<sup>2</sup>, específicamente lechugas, El cultivo de lechugas ha sido seleccionado por las siguientes razones:

- La lechuga es un cultivo de rápido crecimiento y alta demanda en el mercado, lo que permite obtener resultados medibles en un corto período de tiempo, generalmente entre 4 a 5 semanas (Resh, 2022).
- Es un cultivo que se adapta bien a los sistemas hidropónicos, particularmente al sistema NFT, debido a sus requisitos moderados de espacio y nutrientes (Smart Garden Guide, 2023).
- También esta elección está respaldada por estudios previos que han mostrado incrementos significativos en la productividad y reducción en los costos operativos cuando se cultiva hidropónicamente (Wachjoe, y otros, 2022).

Esto proporciona una base sólida para proyectar beneficios económicos y evaluar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo, ofreciendo una comparación clara con las prácticas agrícolas tradicionales

- **Costos de implementación de los sistemas fotovoltaicos e hidropónicos.**

En el presente trabajo, se ha elegido un sistema hidropónico NFT de 4 niveles, con cada nivel compuesto por 3 tubos de PVC, cada uno con capacidad para 10 plantas. Las dimensiones del sistema son 2 metros de largo, 0.5 metro de ancho y 2 metros de alto. Esta configuración permite un uso eficiente del espacio vertical, maximizando la cantidad de plantas cultivadas en un área limitada y optimizando el acceso a luz y nutrientes para cada planta.

El sistema hidropónico utilizará una bomba de 15 W que opera 15 minutos cada hora durante las 24 horas del día, por lo que se requiere un sistema fotovoltaico que incluya los siguientes componentes: un panel solar de 100 W para capturar la energía solar y convertirla en

---

<sup>4</sup> El tamaño del sistema hidropónico NFT, está dado por lo que se encuentra en el mercado actual nacional.



electricidad, una batería de 12V con una capacidad de 50 Ah para almacenar la energía necesaria con una autonomía de 1 día, un controlador de carga para regular la carga y descarga de la batería y un inversor de 300 W que convierta la corriente continua de la batería en corriente alterna (AC) de 125 Vac necesaria para operar la bomba.

A continuación, se detalla el costo del sistema fotovoltaico e hidropónico.

Cuadro 4.4 Costos de implementación de los Sistemas Fotovoltaico e Hidropónico

<b>DETALLE</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Sistema Fotovoltaico <sup>5</sup>	\$371,05
Sistema Hidropónico	\$229,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$600,05</b>

Fuente: Elaborado por los autores

- **Costos por unidad de producción**

Para determinar el costo por planta en el sistema hidropónico alimentado por energía fotovoltaica, es esencial distribuir los costos totales de inversión entre el número total de plantas cultivadas. En este caso, el sistema tiene capacidad para 120 plantas en el área de 1 m<sup>2</sup>.

Cuadro 4.5 Costo por m<sup>2</sup> de producción

<b>DETALLE</b>	<b>COSTO (USD)</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>COSTO POR UNIDAD (USD)</b>
Sistema Fotovoltaico	\$371,05	2	\$185.53
Sistema Hidropónico	\$229,00	1	\$229,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$600,05</b>		<b>\$414.53</b>

Fuente: Elaborado por los autores

El costo total del sistema fotovoltaico es de \$371.05. Dado que este sistema tiene la capacidad de alimentar dos bombas de 15 W, como las utilizadas en el sistema hidropónico, el costo unitario real para el proyecto se reduce a \$185.53: Del mismo modo, el costo total del sistema hidropónico en 1 m<sup>2</sup> es de \$229.00, Por lo tanto, el costo combinado por m<sup>2</sup> y una producción de 120 planta, considerando ambos sistemas, es de \$414.53. Este

<sup>5</sup> El dimensionamiento del sistema fotovoltaico cotizado tiene la capacidad para abastecer una bomba de 30 W. Se cotizo este sistema por motivo que es lo que hay en el mercado nacional actual.

costo refleja la inversión inicial requerida para establecer un sistema eficiente y sostenible de cultivo hidropónico alimentado por energía solar en 1 m<sup>2</sup>.

- **Costos de producción**

Los costos de producción por unidad (planta) en el sistema hidropónico, según entrevistas realizadas a expertos en agricultura hidropónica, es de 19 centavos de dólar (\$0.19). A continuación, se presenta el cálculo del costo total para las 120 unidades de producción.

Cuadro 4.6 Costos de producción

<b>CONCEPTO</b>	<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN POR UNIDAD (USD)</b>	<b>TOTAL, DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN</b>	<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (USD)</b>
Costo	\$0,19	120	\$22,80

Fuente: Elaborado por los autores

Esta tabla proporciona una visión clara del costo de producción directo asociado con el cultivo de 120 unidades dentro de 1 m<sup>2</sup>.

- **Costos de mantenimiento**

El mantenimiento de un sistema hidropónico alimentado por energía fotovoltaica es esencial para asegurar su operación eficiente y sostenibilidad a largo plazo. Los costos de mantenimiento deben considerarse en el análisis económico del proyecto. A continuación, se presenta una evaluación de los costos de mantenimiento:

Cuadro 4.7 Costos de mantenimiento

<b>COMPONENTE</b>	<b>COSTO ANUAL (USD)</b>	<b>REFERENCIA</b>
Limpieza de Paneles Solares	El sistema consta de 1 solo panel de 100 W. Costo: \$4	\$3-\$5 por panel (Jordan & Kurtz, 2013)
Inspección y Reparación de Paneles	El sistema consta de 1 solo panel de 100 W. Costo: \$3	\$20-\$40 por KW (NREL, 2018)
Reemplazo de Inversor	Inversor de 300 W costo: \$37.5	\$0.10-\$0.15 por watt (Jordan & Kurtz, 2013)

Mantenimiento y reposición de batería	Batería de 50 Ah costo: 50	\$40 - \$60 por batería (Battery University, 2021)
Reemplazo de Soluciones Nutritivas	Total 1248 plantas <sup>6</sup> producción al año: \$62.9	\$0.05 por planta (Resh, 2022)
Mantenimiento de Bomba y Recirculación	\$17.5	\$15-\$20 por sistema (Jones, 2016)
Inspección y Limpieza de Canales NFT	\$15	\$10-\$20 por sistema (Jones, 2016)

Fuente: Elaborado por los autores

Los costos de mantenimiento son una parte integral del análisis económico del proyecto. Tanto la limpieza como el mantenimiento del sistema fotovoltaico, junto con el reemplazo de componentes como el inversor, aseguran una operación eficiente a largo plazo. En el caso del sistema hidropónico, los costos de soluciones nutritivas, mantenimiento de la bomba y limpieza de canales son cruciales para mantener una alta productividad. Estos costos deben ser considerados cuidadosamente para garantizar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

El costo total de mantenimiento anual considerando los precios promedios para el sistema hidropónico alimentado por energía fotovoltaica en el proyecto es de \$189.45 USD por m<sup>2</sup> y una producción de 120 plantas de lechuga por ciclo de producción.

- **Beneficios económicos y sociales.**

Para evaluar el beneficio social y económico del proyecto de implementación de sistemas hidropónicos y energía fotovoltaica, se evaluará la producción de lechugas como cultivo principal, de acuerdo con las razones explicadas anteriormente. Este análisis considerará un ciclo de producción de 5 semanas, con un precio de venta actual en el mercado de \$0.33 por 100 gramos de lechuga hidropónica<sup>7</sup>. Generalmente, una lechuga cultivada en un sistema hidropónico puede alcanzar un peso de alrededor de 150 a 200 gramos después de un período de crecimiento de 4 a 5 semanas (Bright Lane Gardens, 2021).

<sup>6</sup> Se considera 120 plantas de producción en 5 semanas.

<sup>7</sup> Precio referencial del mercado nacional, de la evaluación de 5 diferentes marcas de lechugas hidropónicas comercializadas en la cadena MEGAMAXI

A continuación, se detallan los ingresos proyectados, los costos de producción y mantenimiento, y las ganancias netas esperadas. También se examinarán los beneficios sociales, incluyendo generación de empleo, mejora de seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Este enfoque integral permitirá una comprensión completa del impacto positivo del proyecto en las comunidades rurales.

Cuadro 4.8 Beneficios económicos

CONCEPTO	DETALLES	VALOR (USD)
<b>Ingresos Anuales</b>	Precio <sup>8</sup> de Venta por m2	\$69.3
	Número de m2 por Ciclo	1
	Ciclos por Año	10.4
	<b>Total, Ingresos Anuales</b>	<b>\$720.72</b>
<b>Costo de Producción Anual</b>	Costo por m2	\$22.80
	Número de m2 por Ciclo	1
	Ciclos por Año	10.4
	<b>Total, Costo de Producción Anual</b>	<b>\$237.12</b>
<b>Costos de Mantenimiento Anual</b>	<b>Total, Costo de Mantenimiento Anual</b>	<b>\$189.45</b>
<b>Ganancia Anual Neta</b>	Ingresos Anuales	720.72
	Menos Costos de Producción Anual	<b>-\$237.12</b>
	Menos Costos de Mantenimiento Anual	<b>-\$189.45</b>
	<b>Total, Ganancia Anual Neta</b>	<b>\$294.15</b>

Fuente: Elaborado por los autores

Los beneficios económicos del proyecto incluyen ingresos anuales de \$720.72 y una ganancia anual neta de \$294.15 por m2 en 10.4 ciclos de producción tras la deducción de costos de producción y mantenimiento.

Los beneficios sociales del proyecto abarcan tanto la generación de ingresos económicos en las familias de la zona rural como la mejora de la seguridad alimentaria.

La configuración del sistema hidropónico, que no requiere un esfuerzo físico considerable ni técnicas especializadas, permite que sea operado fácilmente por amas de casa o cualquier otro miembro de la familia proporciona una fuente de ingresos adicional para las

<sup>8</sup> Se tomará un peso promedio de 175 gr por cada planta de lechuga cultivada, en total por las 120 plantas el peso esperado es 21000 gr

familias rurales, contribuye a mejorar la calidad de vida y la estabilidad económica de las familias rurales. Considerando el SBU<sup>9</sup> en el año de desarrollo de este proyecto en Ecuador, para que se genere un ingreso equivalente al SBU, es necesario disponer de 18.76 m<sup>2</sup> de cultivo hidropónico tipo NFT.

Además, la producción continua de lechugas y otros vegetales frescos garantiza un suministro constante de alimentos nutritivos, lo que mejora la seguridad alimentaria de las familias.

- **Análisis de retorno de inversión**

El retorno de inversión (ROI) es una métrica en finanzas que permite evaluar la rentabilidad en una inversión comparando los beneficios generados con los costos incurridos. A continuación, se presenta el análisis del ROI para el proyecto de implementación de sistemas hidropónicos y energía fotovoltaica en el cantón Piñas.

El tiempo en el retorno de la inversión se calcula dividiendo el costo total de inversión inicial por la ganancia anual neta.

$$\textit{Tiempo de retorno de la inversión} = \frac{\textit{Costo total de la inversión inicial}}{\textit{Ganancia anual neta}}$$

$$\textit{Tiempo de retorno de la inversión} = \frac{414.53 \textit{ USD}}{294.15 \textit{ USD/año}} \approx 16.9 \textit{ meses}$$

El ROI se calcula dividiendo la ganancia anual neta por el costo total de inversión inicial y multiplicando por 100 para obtener un porcentaje.

$$\textit{ROI} = \left( \frac{\textit{Ganancia Anual Neta}}{\textit{Costo total de la inversión inicial}} \right) \times 100$$

$$\textit{ROI} = \left( \frac{294.15 \textit{ USD}}{414.53 \textit{ USD}} \right) \times 100 = 70.96 \%$$

- **Análisis de sensibilidad**

Lo que el análisis de sensibilidad revela es cómo las variaciones en las variables clave pueden afectar la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto. La ganancia anual neta es sensible a cambios en el precio de venta de las lechugas, en los costos producción y de

---

<sup>9</sup> Sueldo básico unificado para el año 2024 en Ecuador es de \$460 mensuales.

mantenimiento. La eficiencia del sistema fotovoltaico es crucial, aunque en este caso, los ajustes deben calcularse considerando el impacto en la producción de energía y los costos asociados.

Para el análisis de sensibilidad se considerarán tres escenarios, con las siguientes condiciones:

- **Escenario pesimista:** En el escenario pesimista, se considera una disminución del 20% en el precio de venta de la lechuga, un aumento del 20% en los costos de producción y un aumento del 20% en los costos de mantenimiento.
- **Escenario conservador:** En el escenario conservador, se mantienen constantes tanto el precio de venta como los costos de producción y mantenimiento.
- **Escenario optimista:** En el escenario optimista, se asume un aumento del 20% en el precio de venta de la lechuga, una disminución del 20% en los costos de producción y una disminución del 20% en los costos de mantenimiento.

Cuadro 4.9 Análisis de sensibilidad

Escenario	Ingresos brutos anuales	Costo de producción anual	Costo de mantenimiento anual	Ingresos netos anuales	ROI (%)	Tiempo de retorno (meses)
Pesimista	\$567.84	\$284.54	\$227.28	\$56.02	13.51	89
Conservador	\$720.72	\$237.12	\$189.40	\$294.2	79.96	16.9
Optimista	\$873.6	\$189.70	\$151.52	502.38	121.19	9.9

Fuente: Elaborado por los autores

El análisis de sensibilidad demuestra que, bajo diferentes escenarios económicos, el proyecto puede variar significativamente en viabilidad financiera. En el escenario pesimista, con disminución del precio de venta y aumento de costos, el ROI es del 13.51% y el tiempo de retorno es de 89 meses (7.4 años). En el escenario conservador, el ROI es del 79.96% con un tiempo de retorno de 16.9 meses (1.41 años), mostrando estabilidad y viabilidad. En el escenario optimista, con aumento del precio de venta y reducción de costos, el ROI es del 121.19% y el tiempo de retorno es de solo 9.9 meses, subrayando el potencial máximo del proyecto. Estos resultados destacan la necesidad de estrategias adaptativas y monitoreo constante para asegurar la sostenibilidad y maximizar los beneficios económicos.

### **4.3 FORMULACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS POR LA PREFECTURA DE EL ORO PARA EL DESARROLLO PRODUCTIVO RURAL**

El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) establece en su artículo 135 las competencias y atribuciones de las Prefecturas para fomentar actividades productivas y agropecuarias en sus respectivas jurisdicciones. Estas competencias incluyen la capacidad de promover, coordinar y ejecutar programas que impulsen el desarrollo económico en las áreas rurales, aprovechando las características y vocaciones productivas de cada territorio.

#### **4.3.1 Competencias y Atribuciones de la Prefectura según el COOTAD**

Según el artículo 135 del COOTAD, la Prefectura tiene la responsabilidad de fomentar las actividades productivas en coordinación con las políticas establecidas por las entidades rectoras en materia productiva y agropecuaria. Esto incluye la capacidad de diseñar y ejecutar estrategias participativas que apoyen la producción, fortalezcan las cadenas productivas y generen servicios técnicos y financieros para los productores rurales. Estas atribuciones permiten a la Prefectura intervenir de manera decisiva en el desarrollo rural, facilitando la implementación de proyectos.

#### **4.3.2 Propuesta de Política Pública**

En base a las competencias otorgadas por el COOTAD, la Prefectura puede formular una política pública específica para el desarrollo productivo rural en el cantón Piñas. Esta política podría centrarse en integrar tecnologías innovadoras como la hidroponía y la energía fotovoltaica para mejorar la productividad agrícola y promover la sostenibilidad ambiental en las comunidades rurales. La política pública propuesta podría incluir:

- **Subsidios y Financiamiento:** Facilitar el acceso a créditos y subsidios para los agricultores que deseen implementar sistemas hidropónicos y fotovoltaicos, asegurando que estos recursos lleguen a quienes más lo necesitan.
- **Asistencia Técnica:** Crear programas de capacitación y asistencia técnica que capaciten a los agricultores en el uso y mantenimiento de estas tecnologías, garantizando su adopción exitosa y sostenibilidad a largo plazo.
- **Promoción de Cadenas Productivas:** Fortalecer las cadenas productivas locales, vinculando a los productores con mercados locales y regionales, y promoviendo la

comercialización de los productos agrícolas generados a través de los nuevos sistemas.

#### 4.3.3 Estrategias de Implementación

Para llevar a cabo esta política pública, la Prefectura podría desarrollar varias estrategias clave, tales como:

- **Alianzas Estratégicas:** Establecer colaboraciones con universidades, ONGs y el sector privado para obtener apoyo técnico, financiero y logístico. Por ejemplo, se puede plantear alianzas estratégicas entre la prefectura, universidades y centros de investigación, ONGs y sectores privadas.
  - **Prefectura:** Lideraría el programa, proporcionando apoyo técnico, financiamiento y capacitación a los agricultores.
  - **Universidades y centros de investigación:** Contribuirían con investigación y monitoreo del impacto del programa.
  - **ONGs:** Facilitarían la implementación comunitaria y el empoderamiento local.
  - **Sector Privado:** Ofrecería inversión y apoyo en la comercialización de productos agrícolas.
- **Participación Comunitaria:** Involucrar a las comunidades rurales en todas las fases de la política, desde la planificación hasta la ejecución, asegurando que sus necesidades y perspectivas sean tomadas en cuenta.
- **Optimización de Recursos:** Identificar y canalizar recursos existentes hacia los programas de desarrollo rural, maximizando el impacto de las inversiones realizadas.

#### 4.3.4 Impacto Esperado y Beneficios

La implementación de esta política pública se espera que tenga un impacto significativo en el desarrollo socioeconómico del cantón Piñas. Al mejorar la productividad agrícola mediante tecnologías sostenibles, se podrá reducir la pobreza rural, incrementar los ingresos de las familias y mejorar la calidad de vida en la región. Además, esta política contribuirá a la sostenibilidad ambiental al promover el uso de energías limpias y optimizar el uso de recursos naturales.



Esta política pública no solo se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), sino que también tiene el potencial de ser replicada en otras regiones rurales del país, generando un modelo de desarrollo rural sostenible que podría beneficiar a comunidades más allá del cantón Piñas.

#### **4.4 ESTRUCTURACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO**

- **Introducción**

La estructuración y evaluación del proyecto busca establecer un marco sólido para la implementación del programa propuesto, asegurando que no solo se introduzcan tecnologías innovadoras como los sistemas hidropónicos y la energía fotovoltaica en las comunidades rurales, sino también que se genere una adopción efectiva y sostenible de estas tecnologías. Para lograrlo, es fundamental diseñar una política pública que aglomere las fases del proyecto, desde la capacitación inicial hasta la evaluación continua del impacto. A continuación, se presenta un plan de acción detallado, un tablero de mando y los ejes de acción para guiar la implementación y asegurar su éxito.

- **Misión**

Nuestra misión es impulsar el desarrollo socioeconómico sostenible en las comunidades del sector rural en el cantón Piñas mediante la implementación de sistemas hidropónicos y de energía fotovoltaica, proporcionando capacitación y sensibilización a los agricultores y miembros de las comunidades, y estableciendo un sistema de monitoreo y evaluación continua del impacto del programa.

- **Visión**

Ser un referente nacional e internacional en implementación de tecnologías innovadoras que favorezcan el desarrollo rural sostenible, para la mejora de la calidad de vida y la productividad agrícola de las comunidades rurales del cantón Piñas.

- **Ejes de Acción**

El enfoque de los ejes de acción está en proporcionar un marco estructurado que aborde las áreas críticas del proyecto. Se centra en la capacitación, sensibilización, instalación de sistemas y monitoreo y evaluación, asegurando una implementación efectiva y sostenible del programa.

Cuadro 4.10 Ejes de Acción

<b>EJES DE ACCIÓN</b>	<b>OBJETIVO ESTRATÉGICO</b>	<b>ESTRATEGIAS</b>
Capacitación	Mejorar las capacidades técnicas de los agricultores	- Ejecución de programas de capacitación en sistemas hidropónicos y fotovoltaicos. - Creación de manuales y guías prácticas. - Organización de talleres y cursos presenciales y en línea.
Sensibilización	Incrementar la sensibilización sobre los beneficios tecnológicos de los sistemas hidropónicos y fotovoltaicos.	- Desarrollo de campañas de comunicación y sensibilización comunitaria. - Utilización de redes sociales, folletos y charlas para difundir información. - Involucramiento de líderes comunitarios en actividades de sensibilización.
Instalación de Sistemas	Asegurar la correcta instalación de los sistemas hidropónicos y fotovoltaicos.	- Colaboración con proveedores y técnicos para la instalación de los sistemas. - Supervisión técnica durante la instalación para garantizar la calidad. - Realización de visitas de seguimiento post-instalación.
Monitoreo y Evaluación	Evaluar el impacto del programa de manera continua.	- Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real. - Análisis de datos y generación de informes sobre el desempeño. - Ajuste de estrategias y actividades basados en los resultados del monitoreo.

Fuente: Elaborado por los autores

- **Plan de Acción**

El plan de acción detalla las actividades necesarias para llevar a cabo cada eje de acción, asignando responsabilidades, recursos y tiempos específicos. Este plan es esencial para la organización y seguimiento de todas las actividades del proyecto.

Cuadro 4.11 Plan de Acción

<b>Eje</b>	<b>Actividad</b>	<b>Responsables</b>	<b>Recursos</b>	<b>t</b>	<b>Estudios de Base</b>
Capacitación	Realizar un diagnóstico inicial de las necesidades y capacidades de la comunidad	Equipo técnico del proyecto	Entrevistas, encuestas, análisis de datos	1 mes	Datos del INEC, informes municipales
	Desarrollo de programa de capacitación en sistemas hidropónicos y energía fotovoltaica	Expertos en agricultura y energía renovable	Manuales, talleres, plataformas en línea	2 meses	Estudios de capacitación en tecnología agrícola
	Ejecutar talleres y cursos de capacitación	Facilitadores de capacitación	Salones, materiales, equipos	3 meses	Programa de capacitación
Sensibilización	Campañas de sensibilización sobre los beneficios de los sistemas	Equipo de comunicación del proyecto	Folletos, redes sociales, charlas comunitarias	6 meses	Estrategias de comunicación y sensibilización
Instalación de Sistemas	Donación e instalación de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos	Proveedores técnicos especializados	Equipos hidropónicos y fotovoltaicos,	2 meses	Estudios de implementación de tecnologías agrícolas
	Supervisión técnica durante la instalación para garantizar la calidad y efectividad	Supervisores técnicos	Informes de supervisión, herramientas de inspección	Continuo	Protocolos de supervisión y control de calidad
Monitoreo y Evaluación	Establecer un sistema de monitoreo y evaluación continua que mida el impacto del programa	Analistas de datos, supervisores de campo	Software de seguimiento, informes, visitas de campo	Continuo	Modelos de evaluación de proyectos de desarrollo rural

Fuente: Elaborado por los autores

- **Tablero de mando**

El tablero de mando es una herramienta clave para el seguimiento y la evaluación del progreso del proyecto.

Cuadro 4.12 Tablero de mando

<b>Objetivo Estratégico</b>	<b>Indicador</b>	<b>Fórmula de Cálculo</b>	<b>Prd.</b>	<b>Meta sgte. Prd.</b>	<b>Meta Anual</b>
Capacitación y Sensibilización	Número de talleres de capacitación realizados	Conteo de talleres	Mensual	3 talleres	9 talleres
Nivel de satisfacción de los participantes	Encuestas de satisfacción (escala 1-5)	Promedio de calificaciones de encuestas	Mensual	4.0	4.0
Instalación de Sistemas Hidropónicos y Fotovoltaicos	Porcentaje de sistemas instalados	(Número de sistemas instalados / Número total) * 100	Bimestral	100%	100%
Tasa de uso de los sistemas instalados	(Número de sistemas en uso / Número total de sistemas) * 100	Mensual	90%	90%	
Monitoreo y Evaluación Continua	Número de visitas de monitoreo realizadas	Conteo de visitas	Mensual	2 visitas	6 visitas
Reporte de impacto	Conteo de reportes	Conteo de reportes	Mensual	1 reporte	3 reportes
Sostenibilidad Financiera	Fondos asegurados para el proyecto	Monto de fondos asegurados	Mensual	\$10,00	\$30,00
Número de nuevas alianzas estratégicas	Conteo de alianzas	Conteo de nuevas alianzas	Mensual	1 alianza	3 alianzas

Adaptabilidad y Resiliencia	Planes de contingencia desarrollados	Conteo de planes	Mensual	1 plan	3 planes
Evaluaciones de riesgo realizadas	Conteo de evaluaciones	Conteo de evaluaciones	Mensual	1 eval.	3 eval.

Fuente: Elaborado por los autores

#### 4.5 REVISIÓN DE RESULTADOS

Los datos y observaciones indican que los ingresos anuales proyectados alcanzan los \$720.72 USD, mientras que la ganancia anual neta es de \$294.15 USD para la producción en 1m<sup>2</sup> en un escenario conservador. Estas cifras demuestran que el sistema es económicamente viable, con un retorno de inversión de aproximadamente 16.9 meses. Este resultado es congruente con estudios previos que evidencian que los sistemas hidropónicos bien gestionados pueden generar ingresos sostenibles (Resh, 2022).

En cuanto a los costos de producción y mantenimiento, el costo de producción anual por unidad de producción es de \$0.33 por 100 gr de lechuga, y el costo total de mantenimiento anual es de \$189.45. Comparado con métodos agrícolas tradicionales, la hidroponía reduce significativamente el uso de recursos, especialmente agua (Jones, 2016).

La implementación del sistema crea empleos en instalación, mantenimiento y operación, además de mejorar la seguridad alimentaria con la producción continua de lechugas frescas y nutritivas. Esto está en línea con la literatura que destaca los beneficios socioeconómicos de la agricultura sostenible y las energías renovables en áreas rurales (FAO, 2013) (IRENA, 2020).

Desde una perspectiva ambiental, el uso de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos reduce la dependencia de recursos no renovables y minimiza el impacto ambiental. La eficiencia hídrica y la generación de energía renovable contribuyen a la sostenibilidad ambiental del proyecto (Tsoutsos, Frantzeskaki, & Gekas, 2005).

Se observan patrones económicos positivos, con una tendencia de rentabilidad estable y consistente a lo largo del año. La estabilidad de los ingresos sugiere que el proyecto puede proporcionar una fuente confiable de ingresos para las familias rurales. Además, existe una relación directa entre la reducción de costos operativos, gracias a la eficiencia de

los sistemas hidropónicos y fotovoltaicos, y el aumento de la rentabilidad. Esto sugiere que las tecnologías implementadas son efectivas y económicas.

Los resultados económicos son coherentes con estudios anteriores que demuestran que los sistemas hidropónicos pueden ser altamente rentables y sostenibles (Resh, 2022). La integración con energía fotovoltaica agrega una capa adicional de sostenibilidad económica y ambiental (IRENA, 2020). La mejora en el nivel de vida de las familias rurales a través de la generación de ingresos económicos extras y la seguridad alimentaria refuerza las conclusiones de la FAO respecto los beneficios socioeconómicos que generan las prácticas agrícolas sostenibles (FAO, 2013). La disminución en el uso de agua y la dependencia de fuentes de energía no renovables son consistentes sobre los beneficios ambientales de los sistemas hidropónicos y fotovoltaicos (Tsoutsos, Frantzeskaki, & Gekas, 2005).

#### **4.6 ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD PARA UNA FAMILIA DEL CAMPO RURAL**

Para evaluar la viabilidad del proyecto para una familia rural típica en el cantón Piñas, es importante tener en cuenta diversos aspectos demográficos, espaciales y económicos. Por lo general, una familia en esta zona está formada por 3 a 5 integrantes (Primicias, 2023) y reside en una parcela de tierra que puede oscilar entre 1 y 5 hectáreas, el 50% de la población rural en Ecuador posee tierras propias y 28.7% posee tierras arrendadas para uso agropecuario (INEC, 2014). Estas familias dependen principalmente de la agricultura y ganadería para sobrevivir.

Los resultados obtenidos indican que la ganancia anual neta para una producción de 120 lechugas en 1 m<sup>2</sup> es de \$294.15 USD. Para igualar el ingreso anual de \$5,520 USD, correspondiente al Salario Básico Unificado (SBU) en Ecuador para el año 2024, es necesario proyectar un sistema de cultivo con una superficie de 18.76 m<sup>2</sup>. Este tamaño de sistema permitirá una producción de 2,252 lechugas, lo que satisface el objetivo de ingresos.

Además, este sistema requiere un esfuerzo físico y técnico mínimo, lo que permite que cualquier miembro de la familia, incluidas amas de casa y jóvenes, pueda operarlo. La ocupación de 18 m<sup>2</sup> de terreno es factible en la mayoría de las parcelas rurales, donde a menudo hay espacio disponible no utilizado eficientemente.

## 4.7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los descubrimientos de este estudio muestran que la implementación del "Programa Piloto Integral de Desarrollo Socioeconómico Rural a través de Sistemas Hidropónicos y Energía Fotovoltaica en el Cantón Piñas" es viable desde perspectivas económicas, sociales y ambientales. Este análisis es significativo ya que no solo valida la hipótesis de que las tecnologías avanzadas pueden mejorar la productividad agrícola y generar ingresos sostenibles, sino que también ofrece una solución práctica para los desafíos socioeconómicos y ambientales enfrentados por las comunidades rurales.

En el contexto político y organizacional de Piñas, donde las comunidades rurales enfrentan desafíos significativos como la baja generación de ingresos y la dependencia de prácticas agrícolas ineficientes, este programa ofrece una solución prometedora.

El proyecto también trata problemas críticos como la seguridad alimentaria y la gestión de recursos naturales. La eficiencia en el uso del agua y la reducción de la dependencia de fuentes de energía no renovables promueven la sostenibilidad ambiental, lo cual es crucial en un contexto de creciente preocupación por el cambio climático y la preservación de los recursos naturales.

De acuerdo a (Global Petrol Prices, 2023), el precio del kWh de energía eléctrica en Ecuador es de \$0.096. Aunque el costo anual de operar una bomba de 15 W con electricidad de la red es de \$3.16, considerablemente menor que la inversión inicial de \$185.53 en un sistema fotovoltaico, el uso de energía solar presenta beneficios significativos en zonas rurales. Las áreas rurales a menudo enfrentan interrupciones en el suministro eléctrico y costos fluctuantes. Un sistema fotovoltaico garantiza un suministro constante y autónomo de energía, crucial para la sostenibilidad de proyectos agrícolas hidropónicos, evitando la dependencia de una infraestructura eléctrica poco confiable. Además, promueve el uso de energía renovable, reduce la huella de carbono y contribuye al desarrollo sostenible, mejorando la calidad de vida y la resiliencia de las comunidades rurales. Por tanto, la inversión en energía solar es una solución estratégica y sustentable para el desarrollo rural.

## **CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 RESUMEN DE CONCLUSIONES**

Se ha abordado la implementación de un programa piloto integral de desarrollo socioeconómico rural mediante sistemas hidropónicos y energía fotovoltaica en el cantón Piñas. Los principales hallazgos revelan que la combinación de estas tecnologías no solo es viable desde una perspectiva técnica y económica, sino que también tiene un impacto significativo en la calidad de vida de las comunidades rurales.

Uno de los hallazgos más importantes es la viabilidad técnica del proyecto. Los sistemas hidropónicos, específicamente el sistema de técnica de película de nutrientes (NFT), permiten un ahorro significativo de agua en comparación con los métodos tradicionales de cultivo. Además, la irradiación solar en Piñas es adecuada para la implementación de sistemas fotovoltaicos, garantizando un suministro constante de energía para el funcionamiento de los sistemas hidropónicos.

Desde el punto de vista económico, el análisis financiero del proyecto demuestra un Retorno de la Inversión (ROI) de aproximadamente 70.96%, indicando una alta rentabilidad y eficiencia en la utilización de los recursos invertidos. Este valor refleja que, por cada dólar invertido, se espera obtener \$0.71 adicionales en ganancias anuales. Además, el tiempo de retorno de la inversión, estimado en 16.9 meses, es relativamente corto, lo que subraya la viabilidad económica del proyecto. Estos resultados sugieren que la implementación del sistema hidropónico y fotovoltaico no solo es sostenible, sino que también proporciona un impacto económico positivo considerable para las comunidades rurales del cantón Piñas.

El análisis financiero y de viabilidad del proyecto de implementación de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos en el cantón Piñas demuestra que con tan solo 18.76 m<sup>2</sup> de cultivo hidropónico se puede generar un ingreso anual neto equivalente al sueldo básico en Ecuador, que es de \$5,520. Esta cifra resalta el potencial significativo del proyecto para mejorar las condiciones económicas de las familias rurales, ofreciendo una fuente de ingresos sostenible y accesible. La facilidad de manejo del sistema permite que cualquier miembro de la familia, incluso aquellos sin conocimientos técnicos avanzados, pueda operarlo eficientemente, democratizando así el acceso a tecnologías agrícolas avanzadas.



El análisis de sensibilidad del proyecto revela que la viabilidad económica del proyecto está altamente influenciada por variaciones en el precio de venta de la lechuga y los costos de producción y mantenimiento. En el escenario pesimista, el retorno de la inversión es bajo y el tiempo de recuperación es largo, lo que subraya la importancia de estrategias de mitigación de riesgos y apoyo financiero adicional. En el escenario conservador, el proyecto muestra estabilidad y viabilidad, con un retorno de la inversión razonable y un tiempo de recuperación de 16.9 meses. El escenario optimista destaca el potencial máximo del proyecto, con un retorno de la inversión muy alto y un tiempo de recuperación de solo 9.9 meses.

La viabilidad ambiental de la implementación de sistemas hidropónicos y de energía fotovoltaica en las áreas rurales del cantón Piñas es positiva. Estos sistemas promueven el uso eficiente de recursos naturales, reducen la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero, y contribuyen a la sostenibilidad ambiental. Con una planificación adecuada, es posible maximizar los beneficios ambientales y asegurar un impacto positivo a largo plazo.

En cuanto al impacto social, el proyecto genera empleo en la instalación, mantenimiento y operación de los sistemas, además de mejorar la seguridad alimentaria mediante la producción continua de lechugas frescas y nutritivas. La adopción de estas tecnologías refuerza la capacidad de las comunidades rurales para gestionar sus propios recursos y mejorar su calidad de vida, promoviendo un sentido de empoderamiento y autonomía.

Este estudio no solo demuestra la viabilidad del "Programa Piloto Integral de Desarrollo Socioeconómico Rural a través de Sistemas Hidropónicos y Energía Fotovoltaica en el Cantón Piñas," sino que también ofrecen una hoja de ruta para la implementación de políticas públicas efectivas que promuevan el desarrollo económico, la sostenibilidad ambiental y el empoderamiento de las comunidades rurales. Este enfoque integral es crucial para abordar los desafíos multidimensionales que enfrentan las áreas rurales y contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Los resultados obtenidos contribuyen a la comprensión del problema de investigación, mostrando que la implementación de tecnologías avanzadas puede transformar las prácticas agrícolas rurales, incrementar la calidad de vida y fomentar el

desarrollo sostenible. Estos hallazgos son coherentes con estudios previos y validan la hipótesis de que las tecnologías innovadoras pueden ser una solución práctica y efectiva para los desafíos socioeconómicos y ambientales en las comunidades rurales.

La Prefectura, basándose en sus competencias establecidas por el COOTAD, tiene la capacidad de formular y ejecutar políticas públicas que impulsen el desarrollo productivo rural de manera sostenible. La propuesta de integrar tecnologías como la hidroponía y la energía fotovoltaica dentro de una política pública no solo es viable, sino que también representa una oportunidad para transformar las comunidades rurales, mejorando sus condiciones de vida y asegurando su sostenibilidad a largo plazo.

## **5.2 IMPLICACIONES Y RECOMENDACIONES**

Los hallazgos de esta investigación contribuyen significativamente a la teoría del desarrollo socioeconómico rural y la adopción de tecnologías sostenibles. La implementación de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos en comunidades rurales demuestra que las innovaciones tecnológicas pueden ser herramientas efectivas para mejorar la productividad agrícola, generar ingresos sostenibles y promover el desarrollo económico. Estos resultados respaldan teorías que sugieren que las tecnologías avanzadas pueden transformar las prácticas agrícolas tradicionales y mejorar la calidad de vida en áreas rurales.

En la práctica, este estudio proporciona un modelo viable para la integración de tecnologías hidropónicas y fotovoltaicas en el sector agrícola rural. La combinación de estos sistemas no solo mejora la eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola, sino que también crea nuevas oportunidades de empleo y reduce la dependencia de recursos no renovables. La implementación de este modelo puede servir como un ejemplo replicable para otras regiones rurales con condiciones similares, ofreciendo una solución práctica y efectiva para los desafíos socioeconómicos y ambientales.

Se recomienda la implementación de un sistema de cultivo de al menos 18.76 m<sup>2</sup> para aquellos interesados en alcanzar ingresos anuales similares al SBU. Además, se sugiere considerar variables adicionales como fluctuaciones en el mercado y costos operativos variables para una evaluación más precisa y adaptable.

Este estudio tiene importantes implicaciones para la formulación de políticas públicas. La creación de un marco regulatorio favorable, junto con incentivos fiscales y programas de financiamiento, es crucial para apoyar la adopción de tecnologías sostenibles

en la agricultura rural. Además, las políticas deben enfocarse en la capacitación y sensibilización de las comunidades rurales, asegurando que los agricultores tengan el conocimiento y las habilidades necesarias para utilizar y mantener estas tecnologías de manera efectiva. La formación de alianzas estratégicas con gobiernos locales, ONGs, instituciones educativas y empresas privadas es esencial para proporcionar el apoyo técnico y financiero necesario.

Para futuras investigaciones, se sugiere realizar estudios de largo plazo para evaluar el impacto sostenido de la integración de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos en la productividad agrícola, ingresos familiares y sostenibilidad ambiental. Es importante investigar la viabilidad de otros cultivos en sistemas hidropónicos bajo condiciones locales específicas, ampliando el alcance y los beneficios del proyecto. Además, se recomienda explorar cómo estas tecnologías pueden adaptarse a diferentes condiciones geográficas y climáticas para asegurar que el modelo sea aplicable en una variedad de contextos rurales. Evaluar el impacto social y comunitario a través de estudios cualitativos que incluyan las perspectivas y experiencias de los beneficiarios directos del proyecto también es fundamental para entender mejor los efectos de estas tecnologías en las comunidades rurales.

Además, se recomienda evaluar la viabilidad de implementar sistemas hidropónicos conectados a la red eléctrica nacional. Este enfoque puede reducir los costos iniciales asociados con la instalación de sistemas fotovoltaicos y aprovechar la infraestructura eléctrica existente, pero se debe garantizar un suministro de energía eléctrica constante y confiable, ya que los sistemas hidropónicos NFT son altamente dependientes de esta energía para operar la bomba de circulación de agua. Además, se sugiere analizar los beneficios económicos comparativos, la sostenibilidad ambiental y las implicaciones sociales de esta alternativa. Este estudio proporcionará una visión integral para optimizar el uso de recursos y mejorar la eficiencia de los proyectos agrícolas en zonas rurales.

Los resultados de este estudio deben guiar a la Prefectura en la creación de políticas públicas que promuevan la adopción de tecnologías sostenibles en la agricultura rural del cantón Piñas. Es esencial enfocar recursos en fortalecer la infraestructura local y facilitar la implementación de sistemas hidropónicos y fotovoltaicos. La colaboración entre la Prefectura, sector privado, sociedad civil y comunidades locales maximizará los recursos y garantizará el éxito de estas iniciativas. Estas políticas deben integrarse en la planificación estratégica para asegurar un desarrollo rural sostenible.

## CAPÍTULO 6 REFERENCIAS

- Akom, E., Etwire, P. M., & Dogbe, W. (2019). The potential of solar energy integration in rural development. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 5, 566-577.
- Albright, L., Gonzalez, A., & Healy, M. (2019). The economic viability of hydroponics in agricultural production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 124-132.
- Au Yong, W. T. (2023). *Study of small-scale off-grid photovoltaic aquaponic system for domestic self-consumption application*. UTAR. Obtenido de <http://eprints.utar.edu.my/id/eprint/5402>
- Barrios, L. G., Barrios, R. G., & Pérez, I. V. (2020). Agroforestry systems and biodiversity conservation in Latin America. *Agroforestry systems*, 1179-1194.
- Battery University. (2021). How to Prolong Lithium-based Batteries.
- Bright Lane Gardens. (2021). The Complete Guide For Growing Hydroponic Lettuce.
- Chambers, R. (2017). Whose Reality Counts? Putting the First Last. *Intermediate Technology Publications*.
- EcoWatch. (2024). *Do Solar Panels Work on Cloudy Days? What About at Night?*
- FAO. (2013). *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas*. Roma.
- FAO. (2017). *The State of Food and Agriculture 2017*.
- FAO. (2021). *The State of food security and nutrition in the world*.
- GAD Municipal del Cantón Piñas. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Piñas.
- Global Petrol Prices. (2023). *Ecuador electricity prices, December 2023*. Obtenido de [https://www.globalpetrolprices.com/Ecuador/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/Ecuador/electricity_prices/)
- INEC. (2012). Canasta familiar básica y canasta familiar vital.
- INEC. (2013). Encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares urbanos y rurales.

- INEC. (2014). *Encuesta de Condiciones de Vida (ECV) 2013-2014*. Quito.
- INEC. (2022). *Censo de poblacional y vivienda*.
- IRENA. (2020). *Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2020*. Obtenido de <https://www.irena.org/>
- Izuka, U., Ojo, G. G., Ayodeji, S., Ndiwe, T. C., Ehiaguina, V. E., & Ymca, C. (2023). POWERING RURAL HEALTHCARE WITH SUSTAINABLE ENERGY: A GLOBAL REVIEW OF SOLAR SOLUTIONS. *Engineering Science & Technology Journal*, 4, 190-208.
- Jensen, M. H. (2010). *Jensen, M.H. (2010). HYDROPONICS WORLDWIDE - A TECHNICAL OVERVIEW*.
- Jones, J. B. (2016). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press.
- Jordan, D. C., & Kurtz, S. R. (2013). Photovoltaic Degradation Rates—an Analytical Review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 1062-7995. doi:<https://doi.org/10.1002/pip.1182>
- Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2020). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for efficient Quality Food Production*. Academic Press.
- NASA. (s.f.). *NASA POWER*. Obtenido de NASA POWER: <https://power.larc.nasa.gov/>
- NREL. (2018). *Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems. 3rd Edition*. doi:<https://doi.org/10.2172/1489002>
- Pomoni, D., Koukou, M., Vrachopoulos, M. G., & Vasiliadis, L. (2023). A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption Environmental Impact, and Land Use. *Energies*.
- Ponicslife. (2023). *Nutrient Film Technique (NFT): A Complete System Guide*.
- Primicias. (22 de Septiembre de 2023). *Las familias numerosas quedan atrás, hoy mandan los hogares de tres personas*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/censo-ecuador/hogares-familias-poblacion-resultados/>

- Putera, N. R., Gunawan, H., & Pranoto, H. (2015). The economic analysis of photovoltaic systems for agricultural applications. *International Journal of Renewable Energy Research*, 5, 113-221.
- Putera, P., Novita, S. A., Laksmana, I., Hamid, M., & Syafii, S. (2015). Development and Evaluation of Solar-Powered Instrument for Hydroponic System in Limapuluh Kota, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 5, 284-288.
- Resh, H. M. (2022). *Hydroponic food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. Boca Raton, Florida, EEUU: CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9781003133254>
- Roop, R., Weaver, M., Fonseca, A. P., & Matouq, M. (2022). Innovative Approaches in Smallholder Farming Systems to Implement the Sustainable Development Goals. In *Implementing the UN Sustainable Development Goals - Regional Perspectives, SDGs in the Americas and Caribbean Region*. Suiza: Springer Nature. doi:10.1007/978-3-031-16017-2\_70
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Hydroponics as an advanced horticultural technology In Modern Crop Production technologies. *Academic Press*, 297-354.
- Savvas, D., Voutsinos, O., Mastoraki, M., Liakopoulos, G., Dekoulis, K., & Ntatsi, G. (2020). Exploring the possibility to use energy from solar panels to provide artificial light through LEDs in a vertical hydroponic crop of lettuce. *Acta Horticulturae*, 943-950.
- Sengodan, P. (2022). An Overview of Vertical Farming: Highlighting the Potential in Malaysian High-Rise Buildings. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 30, 949-981. doi:10.47836/pjst.30.2.06
- Shaffer, G., Achieng, C., Quezada, F., Soenksen, C., Gilmour, T., & Song, J. (2014). A Development of a PV-Powered Aquaponics System. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*.
- Smart Garden Guide. (2023). What Is The Nutrient Film Technique And How Does It Work? .

- Smart Garden GuideSmart Garden Guide. (2023). What Is The Nutrient Film Technique And How Does It Work? .
- The World Bank. (2023). *The World Bank*. Obtenido de <https://www.worldbank.org/en/programs/knowledge-for-change/brief/agriculture-and-rural-development>
- Theocharis Tsoutsos, N. F. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33, 289-296. doi:[https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6)
- Toledo, V. M. (2013). *La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Icaria Editorial.
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33(3), 289-296.
- Wachjoe, C. K., Zeina, H., Kurniasetiawati, A. S., Sasono, T., Suprianti, Y., & Yulistiani, F. (2022). Economical sustainability of integrated photovoltaic and hydroponic systems for rural areas. *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering. Journal of Energy, Mechanical, Material and Manufacturing Engineering (JEMMME)*, 10, 123-134.
- WhyFarmIt. (2023). What Is the NFT Hydroponics System?
- Wiens, N. (2021). *Hydroponic Crop Cultivation as a Strategy for Reducing Food Insecurity*. Thesis Prospectus, University of Virginia.