



Universidad de Nariño

INGEN^{ERÍA}
ELECTRÓNICA



IPSE

Instituto de planificación y promoción
de Soluciones Energéticas para las
zonas no interconectadas.

ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA RIEGO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE TAMINANGO (NARIÑO)



pers
Nariño

Plan de Energización Rural Sostenible

**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA RIEGO
UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE TAMINANGO (NARIÑO)**

COORDINADOR Y FORMULADOR:

José Luis Ocaña

Ing. Electrónico, Magíster en Ingeniería Electrónica y de Computadores

ASISTENTES DE INVESTIGACIÓN:

Liseth Saavedra

Eduardo Narváez

COLABORADORES:

Jorge Larrañaga

Ing. Eléctricista

Álvaro León Ibarra

Ing. Mecánico

PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

PERS-Nariño

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

UPME

USAID

IPSE

San Juan de Pasto – Nariño

Colombia

2014



CONTENIDO

1.	FICHA DEL PROYECTO.....	4
2.	RESUMEN DEL PROYECTO.....	5
3.	IDENTIFICACIÓN	6
3.1.	SITUACIÓN ACTUAL.....	6
3.1.1.	ÁREA INFLUENCIADA POR EL PROYECTO	6
3.1.2.	PARTICIPANTES	10
3.1.3.	INFORMACIÓN DEL SERVICIO.....	12
3.2.	MARCO DE REFERENCIA.....	12
3.2.1.	CONTRIBUCIÓN A LA POLÍTICA PÚBLICA.....	12
3.2.2.	ANTECEDENTES	13
3.2.3.	ESTADO DEL ARTE	15
3.3.	PROBLEMA CENTRAL, CAUSAS Y EFECTOS.....	28
4.	FORMULACIÓN DE LA ALTERNATIVA	29
4.1.	NOMBRE DE LA ALTERNATIVA	29
4.2.	RESUMEN DE LA ALTERNATIVA.....	29
4.3.	OBJETIVOS.....	30
4.3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	30
4.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30
4.4.	PRODUCTOS, ACTIVIDADES, PERSONAL REQUERIDO	30
4.5.	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INNOVACIÓN PROPUESTA	32
4.6.	METODOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE RESPONSABILIDADES.....	32
4.7.	INDICADORES DE OBJETIVO GENERAL, DE PRODUCTO Y DE GESTIÓN.....	37
4.8.	FUENTES DE VERIFICACIÓN Y SUPUESTOS.....	39
4.9.	BIENES Y/O SERVICIOS	41
4.10.	BENEFICIOS DE INGRESOS.....	41
4.11.	HORIZONTE DEL PROYECTO	42
4.12.	IMPACTOS ESPERADOS	42
4.13.	ANÁLISIS DE RIESGOS.....	43
4.14.	CRONOGRAMA.....	45
4.15.	PRESUPUESTO	47



1. FICHA DEL PROYECTO

Título del proyecto:	ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA RIEGO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE TAMINANGO (NARIÑO)	
Entidad formuladora:	Universidad de Nariño	
Entidad beneficiaria:	POBLACIÓN MUNICIPIO TAMINANGO	
Entidad ejecutora:	Universidad de Nariño.	
Otras instituciones participantes:	ALCADÍA TAMINANGO, FAZNI, IPSE, FINGARO, CORPONARIÑO	
Duración del proyecto (meses):	12	
Costo total del proyecto:	\$ 210.132.000,00	
	\$ 250.000.000,00	
Lugar de ejecución del proyecto:	Ciudad: TAMINANGO	Departamento: NARIÑO
Persona responsable del proyecto:	Empresa/institución: Universidad de Nariño	Cargo: Ejecutor

2. RESUMEN DEL PROYECTO

Uno de los principales objetivos referentes al consumo y distribución energética en Colombia es incrementar la penetración del servicio a las áreas rurales que no se encuentren interconectadas a la red, tanto a nivel urbano como a pequeños centros de consumo que demanden del servicio eléctrico para ser más eficientes en sus actividades económicas; tal es el caso de la producción agrícola colombiana, que en muchos casos a lo largo del territorio nacional aún se desarrolla de manera artesanal sin contar con un grado de tecnificación que permita obtener mejores productos y por consiguiente mayores ingresos a los agricultores.

Los niveles de pobreza en el municipio de Taminango se han ampliado drásticamente debido a la crudeza climatológica que se ha presentado en la región, la sequía ha llevado a muchas familias a vivir de la mendicidad dado que sus cultivos se han perdido debido a los largos periodos de sequía que se presenta en la zona, por lo cual intervenciones para dar solución a esta crisis son de imperativa relevancia, tal como se ha estipulado en el Plan de Desarrollo del municipio.

Teniendo en cuenta lo anterior se pretende realizar un estudio para proveer una solución práctica y adaptable al proceso del riego agrícola en el municipio de Taminango Nariño basando el sistema de generación eléctrica en componentes fotovoltaicos. Dadas las características propias de los sistemas fotovoltaicos, las condiciones climatológicas de la región y las necesidades energéticas, los sistemas fotovoltaicos constituyen una alternativa bastante interesante para abordar el proyecto.

3. IDENTIFICACIÓN

3.1. SITUACIÓN ACTUAL

La situación del municipio de Taminango es tenida en cuenta, dadas sus condiciones climáticas en los últimos años se han presentado periodos de sequía casi a lo largo de todo el año, lo cual ha afectado perjudicialmente a su comunidad quienes basan su actividad económica en cultivos de pan coger tales como el maíz, maní, frijol entre otros; esta situación ha derivado en factores adversos al bienestar de la población como emigraciones a zonas de cultivos ilícitos, pobreza, hambre, mendicidad, delincuencia entre otros, por lo tanto desde su organismo gubernamental inmediato se ha visto la importante necesidad de pensar en alternativas económicas que puedan ayudar a solventar algunas de las necesidades de la comunidad.

Por lo tanto la posibilidad de plantear una solución viable a esta problemática puede ser tenida en cuenta utilizando sistemas fotovoltaicos de pequeña capacidad para poder realizar el diseño de sistemas de bombeo que permitan un mejor proceso agrícola en la región.

Otro aspecto a resaltar es que los cultivos tradicionales involucrados en las actividades económicas de esta región, poseen características comunes a nivel nacional, que hasta ahora ya sea por las condiciones climatológicas propias de la región o la falta de apoyo/tecnificación hacia los agricultores no ha podido colmar y suplir las necesidades económicas de la población, es entonces que se ha buscado alternativas agrícolas que puedan aportar un mejor sustento a la comunidad.

3.1.1. ÁREA INFLUENCIADA POR EL PROYECTO

El Municipio de TAMINANGO se encuentra localizado al norte del Departamento de Nariño, en región limítrofe con el Departamento del Cauca, haciendo parte del nudo de los pastos y sobre vertiente de los ríos Patía, Mayo y Juanambú. Su acceso desde Pasto se hace por carretera panamericana hasta el sitio denominado Panoya en una distancia de 62 kilómetros y de aquí por carretera destapada secundaria en una longitud de 17.0 kilómetros.

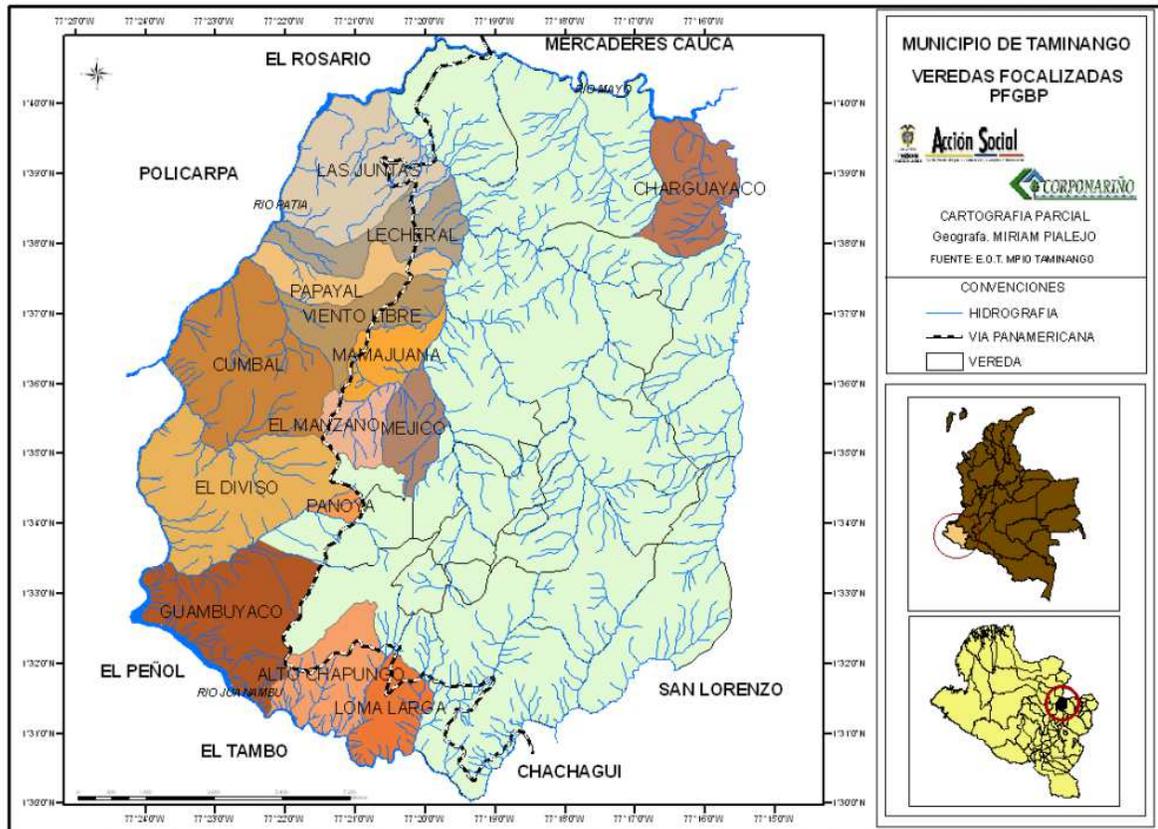
El comportamiento de la distribución de la población total del municipio de TAMINANGO según sector rural y urbano es la siguiente:

Tabla 1. Distribución poblacional Taminango

Sector	Población	%
Rural	12.969	82%
Urbana	2.823	18%
Total	15.792	100%

Fuente: DANE 2004

Figura 1. Municipio de Taminango



FUENTE: DANE

La población económicamente activa (PEA), asciende a 9.383 personas, correspondiéndole un 59.42% del total de la población, La población económicamente dependiente asciende a 6.409 personas, representando el 40.58% del total de la población.

El total de establecimientos educativos oficiales corresponden a 36, entre 31 centros y 5 instituciones educativas, ubicados en el sector rural y urbano del municipio. Según diagnóstico realizado por la actual administración municipal, el total de centros educativos asciende a 38, para un total de 43 establecimientos educativos ubicados en el sector rural y urbano. De un total de 3.779 estudiantes, 1.105 que corresponden al 29.24% se encuentran matriculados en el área urbana, mientras que el 70.75% es decir 2.674 estudiantes inscritos pertenecen al área rural. Como se aprecia, la mayor concentración de población escolar en los niveles preescolar y primaria se presenta en el sector rural del municipio y la participación de estudiantes en el nivel de educación secundaria hace mayor presencia en el sector urbano.

Se debe tener en cuenta de igual forma los actuales conflictos sociales presentes en el municipio de Taminango, los actores armados que hacen presencia en la zona son: el ELN, las FARC y las AUC, generando conflictos sociales de desplazamiento, homicidios, secuestros y demás hechos de violencia. También se presentan grupos organizados de delincuencia común que causan violencia, alterando la tranquilidad y seguridad de la población. Las condiciones de desigualdad, inequidad e

injusticia social generan pobreza y miseria en el municipio, conllevando a una alta vulnerabilidad social de sus pobladores.

La presencia en el municipio de TAMINANGO de cultivos de uso ilícito, también genera conflictos sociales, económicos y políticos, deteriorando las relaciones de convivencia, violando los Derechos Humanos y el Derecho Internacional Humanitario (DIH).

Dada la relación directa de las temperaturas con la altitud y como territorialmente en el Municipio de TAMINANGO se encuentran altitudes que van desde los 440 m.s.n.m en la desembocadura del río Juanambú sobre el río Patía, hasta los 2.200 m.s.n.m en los cerros Majuando, Platanal y Alto Don Diego, esta situación permite la presencia de temperaturas medias que oscilan espacialmente entre 15.7 °C y 27 °C. Dada la localización altitudinal de la cabecera municipal esta presenta una temperatura media de 20 °C.

Tabla 2. Datos climatológicos de Taminango

Mes	Temp. Aire	Humedad relativa	Irradiancia solar diaria	Presión Atmosférica	Temp. Suelo
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	°C
Enero	19.2	79.9%	4.06	86.3	21.0
Febrero	19.6	78.2%	4.25	86.3	21.4
Marzo	19.9	77.6%	4.44	86.3	22.0
Abril	20.1	75.3%	4.28	86.3	22.3
Mayo	20.1	70.6%	4.06	86.4	22.4
Junio	19.8	66.1%	4.03	86.5	22.0
Julio	20.0	57.2%	4.22	86.5	22.8
Agosto	21.0	52.0%	4.21	86.5	24.5
Septiembre	21.2	57.6%	4.11	86.4	25.1
Octubre	20.4	68.7%	4.10	86.4	23.9
Noviembre	19.3	78.8%	3.90	86.3	21.8
Diciembre	19.1	81.4%	3.84	86.3	20.9
Anual	20.0	70.3%	4.12	86.4	22.5

FUENTE: Atmospheric Science Data Center, NASA

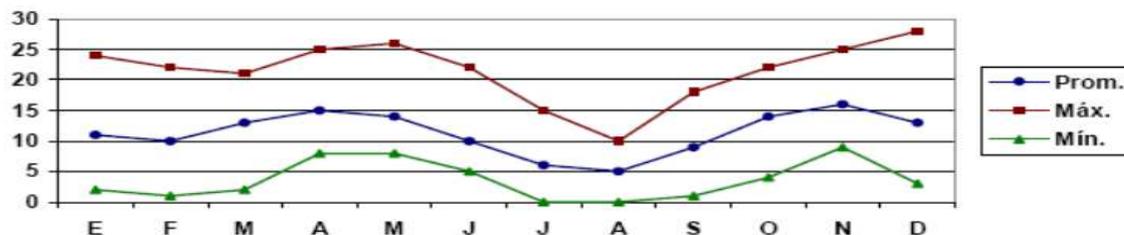
La destrucción del medio ambiente natural, debido a un efecto negativo de las interacciones ser humano-naturaleza (inadecuados sistemas de producción, destrucción de los bosques y el inadecuado uso de los suelos) se refleja en la aguda erosión que ha acelerado el proceso de desertización con la consecuente degradación de micro cuencas, la presencia de sequías prolongadas y el aumento acelerado de la miseria en cerca del 50% de la población rural.

Tabla 3. Sectorización hidrológica – microcuencas Taminango

Cuenca	Subcuenca			Microcuenca		
	Corrientes	Has.	%	Corrientes	Has	%
Río Patía	Río Juanambú	8251,40	35,50	Q. Honda	545,20	2,30
				Q. La Playa	799,80	3,40
				Q. La Llana	1286,00	5,50
				Q. Chapungo	560,30	2,40
				Q. Herradura	1671,30	7,20
				Q. Salado	1183,80	5,10
				Escurrecimiento Juanambú	2205,00	9,50
	Río Mayo	4496,20	19,40	Huevo Lindo	760,30	3,30
				Charguayaco	2566,60	11,00
				Escurrecimientos R. Mayo	1169,30	5,00
Río Patía		10467,10	45,10	Q. El Salado	3052,00	13,10
				Q. Naranja	3871,00	17,00
				Q. Platanales	653,50	2,80
				Q. Curicao Bajo	1590,00	6,80
				Escurrecimientos R. Patía	1300,60	5,60
Área Total		23214,70	100,0		23214,7	100,0

FUENTE: Diagnostico Biofísico y Socioeconómico PFGB Municipio de Taminango. COORPONARIÑO

Figura 2. Valores totales mensuales de precipitación (mm). Estación: Viento libre Taminango



FUENTE: Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT - Municipio de Taminango – Nariño - 2006-2015

En el caso de la zona de influencia del municipio de Taminango, durante el periodo de junio a septiembre hay deficiencia de agua y para los meses de enero – febrero en la región se requiere de riego eventual para sus actividades agrícolas. Se puede presentar deficiencias de agua en los meses de marzo - abril y de octubre a diciembre, siendo este fenómeno de mayor incidencia en el segundo semestre del año.

Tabla 4. Cobertura y uso del suelo Municipio de Taminango

Unidad	Clase	Tipo de Uso	Símbolo	Has.	%
Cobertura Vegetal	Bosque	Bosque Natural secundario	B-NS	339,80	1,40
	Rastrojo	Rastrojo	R	351,40	1,50
	Vegetación desértica	Vegetación xerofítica y espinosa	Vx	2971,00	12,60
	Pastos	Pastos manejados	PM	2937,50	13,00
		Pastos naturales enmalezados	P-NE	9392,70	40,50

	Cultivos	Zona cafetera	Zc	3753,50	16,20
		Cultivos transitorios y permanentes	Ct – Cp	3331,60	14,30
Construida	Taminango, Remolino, El Tablón, Granada			136,20	0,50
			Área Total	23214,70	100,00

FUENTE: EOT Taminango 2007

De acuerdo con la información consultada en el Consolidado Agropecuario 2004, de la Secretaría Departamental de Agricultura y Medio Ambiente, la economía del municipio de TAMINANGO está basada en la producción agrícola, representada en:

- Cultivos transitorios: Frijol arbustivo, maíz, maní y tomate de mesa.
- De producción anual: Yuca.
- Cultivos permanentes: Café y plátano.
- Frutales: Lulo, cítricos, mango, maracuyá, papaya y piña.

Tabla 5. Distribución de principales cultivos transitorios

Producto	Área sembrada Has	Área cosechada Has	Producción TON	Rendim KG/HA	Precio producto \$TON	Costos producción	% Comerc
Frijol Arb.	8.0	8.0	4.0	500	2.400.000	957.372	90.0
Maíz	80.0	70.0	35.0	500	430.000	583.260	50.0
Maní	170.0	160.0	96.0	600	2.650.000	1.105.640	90.0
Tomate mesa	10.0	10.0	200.0	20000	340.000	5.171.166	90.0

FUENTE: EOT Taminango 2007

Los productores son en su mayoría pequeños propietarios de predios con extensiones comprendidas entre 1 y 5 hectáreas. Le sigue en orden de importancia la explotación pecuaria orientada a actividades ganaderas de doble propósito, en las que el 80% de los predios tienen potreros con pastos naturales donde se mantienen en promedio 20 a 25 reses, caracterizándose esta actividad como de levante y ceba.

Para la administración Municipal del municipio de Taminango es de gran valor continuar priorizando el fomento agropecuario en el Municipio, teniendo en cuenta que ha sido un sector que en los últimos años se ha visto un poco descuidado, en lo que tiene que ver con actividades de promoción y fomento a la actividad agropecuaria sostenible, que permitan entre otros aspectos a las familias campesinas fortalecer su seguridad alimentaria, bienestar y mejoramiento de la calidad de vida.

3.1.2. PARTICIPANTES

Los actores que pueden llevar a cabo y apoyar este tipo de desarrollos los conforman la alcaldía del municipio de Taminango directamente para este caso de estudio, como también diferentes entidades gubernamentales como FINAGRO; estas entidades promueven el cultivo de esta especie para apoyar a comunidades pobres. Específicamente FINAGRO actualmente posee un sistema de

incentivos que pueden llegar hasta un 80% de financiación en el nivel de inversión para adecuación de tierras en el cual la dotación de sistemas de riego y adecuación para el manejo del recurso hídrico juega un papel importante. La alcaldía del municipio abrió un concurso para realizar un estudio previo con el fin de contratar un servicio profesional de experimentación con cultivos alternos especialmente con la higuera.

El proyecto principalmente está enfocado a la población agricultora damnificada por la sequía que afecta sus cultivos, dentro del margen del proyecto especialmente se enfocaría a aquella población que busque acogerse a la iniciativa de la alcaldía para enfocar su producción agrícola hacia el cultivo, procesamiento y distribución de La Higuera y sus derivados.

Entre los participantes cooperantes se identifican directamente a la alcaldía del municipio de Taminango quien pretende brindar el apoyo y acompañamiento necesarios para el establecimiento del cultivo, comercialización e industrialización, al tiempo que se adopten los mecanismos necesarios para persuadir y convencer a propietarios campesinos de la zona para que introduzcan dentro de sus cultivos el de la higuera, y así poder producir las cantidades necesarias para satisfacer las demandas del mercado.

FINAGRO de igual forma se identificó como un posible participante cooperante en el marco del desarrollo de este proyecto relacionado con inversión para realizar adecuación de tierras; esto involucra costos de inversión en actividades cuya finalidad sea mejorar las condiciones de producción de bienes agropecuarios, a través del acondicionamiento del estado físico y químico de los suelos, la dotación de sistemas de riego, drenaje y control de inundaciones, y adecuación para el manejo del recurso hídrico.

Cuadro 1. Análisis de participantes del proyecto

Participante	Posición	Tipo de Contribución	Experiencia Previa
Comunidad municipio Taminango	Beneficiario	Mano de obra, Información.	Nula
Alcaldía municipio Taminango	Aportante	Monetaria, Mano de obra, instalaciones.	Sistemas de apoyo agrícola, Bases de datos de agricultores, programas de fomento agrícola
IPSE	Aportante	Monetaria	Financiación proyectos energéticos
FAZNI	Aportante	Monetaria	Financiación proyectos energéticos
FINGARO	Aportante	Monetaria y Consultoría	Financiación de proyectos agrícolas, tecnificación del desarrollo agrícola
CORPONARIÑO	Aportante	Monetaria y Consultoría	Capacitaciones en tecnificación del proceso agrícola, aprovechamiento de los recursos.

FUENTE: Elaboración propia

3.1.3. INFORMACIÓN DEL SERVICIO

En el municipio de Taminango los suelos presentan altos grados de erosión, incorporado a esto el clima cálido seco y fuertes vientos, sin barreras naturales para su protección, hacen que la zona siempre se encuentre en déficit en el balance hídrico del suelo. Por tanto la zona presenta bajos rendimientos y en muchas ocasiones pérdidas totales de cosechas. En la temporada seca que va desde los meses de junio hasta agosto, la ausencia de precipitaciones implica una carencia absoluta de agua y lamentablemente los sitios de recarga deforestados y las microcuencas degradadas que alimentan estas fuentes están lejos en las laderas de las cordilleras central y occidental.

En la actualidad en el municipio de Taminango se han perdido en su totalidad cultivos y semillas de maní, maíz, frutales y actualmente existen 1.500 familias damnificadas con tendencia a aumentar en forma considerable, pues se comenzaron a afectar los cultivos de café existentes en la parte alta del municipio, como el corregimiento de Curiaco, la cabecera municipal, veredas de Taminango, Páramo y Guayacanal.

De igual forma las producciones de maní, frutales y de hortalizas no cumplen con los eslabones de una cadena productiva lo cual presentan dificultades al momento de su comercialización o transformación.

El Plan Agropecuario Municipal, expresa que el 80% de las fincas no tienen electrificación y el 100% no tienen acueducto sino sistemas de abastecimiento individual. En esta zona se disponen de dos sistemas de riego que funcionan de manera deficiente y en cuanto a las vías de comunicación, estas se encuentran en regular estado lo cual dificulta en gran medida el transporte de productos tanto para comercialización como para consumo.

3.2. MARCO DE REFERENCIA

3.2.1. CONTRIBUCIÓN A LA POLÍTICA PÚBLICA

Como se detalla en el Plan de Desarrollo municipal¹ el sector productivo del municipio de Taminango se basa en gran medida de su actividad agrícola, el cual necesita una asistencia técnica eficiente en el desarrollo de los procesos productivos, de transformación y comercialización para el aprovechamiento de sus potencialidades naturales.

Estimular los procesos de investigación e innovación y adaptación tecnológica con énfasis en los campos de la agroindustria, la biodiversidad, la informática, la producción energética y el turismo, es una de las bazas de proyección y crecimiento del municipio.

La producción de la región no cuenta con una organización que se dedique a la promoción y comercialización de producción, por lo cual se ve la necesidad de establecer unidades

¹ Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT - Municipio de Taminango – Nariño. 2006-2015. Documento Técnico de Soporte

empresariales comerciales como alternativas para poder dar una mejor salida a los productos locales.

Impulsar la productividad fortaleciendo los principales renglones productivos, mediante el fortalecimiento de alianzas público-privadas se requiere fomentar las redes de producción y promover políticas públicas que permitan incrementar el ingreso y empleo rural.

Entre las posibles soluciones o caminos a tomar por parte de la alcaldía del municipio se encuentra la realización de alianzas o convenios con Universidades, SENA, ONGs que se dediquen a la investigación y divulgación de nuevas técnicas de producción agropecuaria. Contratar la Asistencia Técnica Agropecuaria Directa Rural con ESAGRO o conformar una unidad municipal que se dedique a esta actividad.

Se busca en si poder fortalecer los procesos productivos sostenibles encaminados a la comercialización y a la generación de valor agregado de los productos de la región

3.2.2. ANTECEDENTES

El desarrollo e implementación de un sistema de riego por goteo alimentado por energía solar fotovoltaica es una de las técnicas más vastamente utilizadas en el campo agrícola en donde los recursos hídricos no son abundantes, tal como lo describe García² en su publicación, en este proyecto se ha desarrollado una metodología de diseño de instalaciones de riego fotovoltaico en las que, siguiendo una estrategia de máxima captación de energía, se emplea el suelo como principal subsistema de acumulación, minimizando el empleo de baterías y reduciendo las dimensiones del subsistema de generación. El modelo propone el riego de un número variable de sectores simultáneamente para adaptar la demanda energética a las variaciones de radiación solar disponible.

El proyecto se realiza en España, en la ciudad de Calahorra de la comunidad autónoma de La Rioja, en la parcela se encuentra implantada una explotación de olivar y cuenta con un total de 1.960 olivos con un marco de plantación intensivo de 4x5 m (4 m entre olivos y 5 m en las calles), con lo que la superficie cultivada asciende a 39.200 m². El documento presenta: estudio climático, estudio edafológico, estudio topográfico, estudio de recursos hídricos, estudio de necesidades hídricas, instalación hidráulica, instalación de bombeo fotovoltaico, instalación eléctrica, obra civil, estudio básico de seguridad y salud, justificación de precios

Navarrete, et. Al,³ presenta el proyecto de electrificación rural fotovoltaica y de bombeo fotovoltaico de agua en Garf Hussein (Egipto), en este trabajo se muestra un caso de bombeo fotovoltaico para el riego eficiente de cultivos de subsistencia. El documento se basa en una metodología para satisfacer las necesidades de los usuarios y usar una opción más barata de implantación, posee la comparación del sistema inicial y el sistema actual.

² GARCÍA RUIZ, Ignacio. Instalación de riego fotovoltaico de 4 ha de olivar en Calahorra (la rioja), Universidad Pública de Navarra, Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos, Septiembre de 2011.

³ NARVARTE, Luis. Proyecto de electrificación rural fotovoltaica y de bombeo fotovoltaico de agua en garf hussein (egipto): lecciones aprendidas y buenas prácticas, Septiembre de 2010.

Baldán⁴, nos presenta las ventajas y desventajas de los sistemas de bombeo solar, una comparación entre las distintas opciones de bombeo y aplicaciones de las mismas, se observa una descripción del sistema de bombeo fotovoltaico con sus subsistemas, el de generación el de motor-bomba y el de acondicionamiento de potencia; se hace un estudio de las diferentes bombas existentes en el mercado, en especial las de marca Shurflo, Lorentz y Grundfos, se realiza el cálculo de los costes y descripciones de aplicación.

En Gutierrez et. al.⁵, se observa un proyecto de innovación tecnológica de sistemas de producción y comercialización de especies aromáticas y cultivos élite en agricultura orgánica protegida con energías alternativas de bajo costo, se plantea un sistema de riego automatizado que incluye sensores inalámbricos, una unidad remota de información, un panel de control, la operación del sistema, riegos en modalidad manual, automáticos o programados.

Aqueveque⁶, muestra un proyecto de bombeo de agua para riego en el cerro calán de Chile utilizando energía solar fotovoltaica. En el informe del proyecto se muestran la determinación del caudal de diseño de la impulsión, el diseño de los paneles solares, la elección de las bombas y el diseño de las obras tales como cámara de captación, cámara de impulsión, diámetro de la impulsión, tipo de tubo y uso de la infraestructura existente en el cerro. Además se incluye una simulación horaria de bombeo solar, el presupuesto de los materiales y obras respectivas y los planos del proyecto.

Van Campen et. al.,⁷ presentan un estudio para contribuir a conocer el impacto potencial y limitaciones de las aplicaciones solares fotovoltaicas en la agricultura y desarrollo rural sostenibles, en especial su impacto en las actividades que generan ingresos y el bienestar social.

Los resultados de este estudio se presentan en cuatro capítulos, El capítulo 1 contiene la introducción y los objetivos. El capítulo 2 proporciona la información general del estudio. El capítulo 3 presenta los principales resultados del trabajo, las aplicaciones más frecuentes de los sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales y sus repercusiones. El capítulo 4 resume los resultados y destaca las sugerencias más importantes, así como la experiencia adquirida, para aprovechar las oportunidades de los sistemas fotovoltaicos.

Arija⁸, expone un prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo con tecnologías apropiadas, se pretende exponer de manera clara y ejemplificada

⁴ BALDÁN CRUZ, David. Estudio del ahorro mediante bombeo solar, Universidad internacional de Andalucía, 2011.

⁵ GUTIÉRREZ JAGÜEY, Joaquín; PORTA GÁNDARA, Miguel Ángel; ROMERO VIVAS, Eduardo; VILLA MEDINA, José Francisco. Innovación tecnológica de sistemas de producción y comercialización de especies aromáticas y cultivos élite en agricultura orgánica protegida con energías alternativas de bajo costo, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C, 2012.

⁶ AQUEVEQUE MEDINA, Emilio. Bombeo de agua para riego en cerro calán utilizando energía solar fotovoltaica, Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de ingeniería civil, Octubre 2009.

⁷ VAN CAMPEN, B; GUIDI D; BEST G. Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles, FAO, Roma, 2000.

información necesaria para la puesta en marcha y simulación de un sistema de bombeo autónomo con bomba sumergible alimentado por una instalación solar fotovoltaica. Con aspectos tales como métodos numéricos de cálculo, aclaraciones sobre funcionamiento y montaje, ensayos en un prototipo, este estudio se plantea a modo de guía para facilitar la implantación de sistemas que contribuyan a mejorar tanto las condiciones de vida como la formación de la población de los países con menor nivel de desarrollo tecnológico en cuanto a materia de abastecimiento de agua.

Finalmente a lo largo del desarrollo de las aplicaciones fotovoltaicas en los sistemas de riego y bombeo se ha consolidado una guía⁹ para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica, aquí se consideran factores de factibilidad de la operación como: la comparación con otras fuentes de energía, las características de bombeo, disponibilidad de recurso solar entre otras. Se abordan ítems de energía solar tales como: trayectoria solar, datos de insolación, efecto fotovoltaico, materiales de fabricación, principios de conversión fotovoltaica, celdas solares de silicio cristalino. Se abarca la hidráulica en sistemas de bombeo, el bombeo fotovoltaico, aspectos económicos tales como estimación de costos del sistema, instalación, operación y mantenimiento.

3.2.3. ESTADO DEL ARTE

La generación fotovoltaica en Colombia generalmente se ha enfocado en el campo del sector agrícola, debido a que los altos costos de generación originados principalmente en los costos de combustibles, y los costos de operación y mantenimiento en las distintas zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo y confiable. Sin embargo, para la realización de este tipo de proyectos en estas zonas, se requiere de una logística completa que permita alimentar los equipos eléctricos que lo requieran en estas áreas alejadas de la red eléctrica y cuyas condiciones de las áreas de acceso generalmente imposibilitan la transmisión de los equipos y redes que permitan cubrir las necesidades de electrificación en estas zonas.

Sistemas de Riego en agricultura

El riego no debe considerarse aisladamente, sino como parte de un conjunto de técnicas utilizadas para garantizar la producción económica de una cultura en particular, con una gestión adecuada de los recursos naturales y debe tenerse en cuenta los aspectos de las plantaciones, de las posibilidades de rotación de cultivos, protección del suelo con cultivos de cobertura, la fertilidad del suelo de integrado de plagas y enfermedades, mecanización, etc., persiguiendo la producción integrada y la mejor inserción de mercado.

En el antiguo concepto, el riego fue visto como una técnica que era básicamente la lucha contra la sequía. En una corriente más, dentro de un enfoque empresarial de la agroindustria, el riego es una estrategia para aumentar la rentabilidad de la propiedad agrícola por aumentar la producción

⁸ ARIJA GONZÁLEZ, David. Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo con tecnologías apropiadas, Universidad Carlos III de Madrid escuela politécnica superior, 28 de Julio de 2010.

⁹ Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica, Sandía National Laboratories, Marzo de 2001

y productividad, de manera sostenible (preservación del medio ambiente) y con mayor empleo y generación de ingresos, dando enfoque a las cadenas productivas.

Sin duda, este concepto de riego necesita un programa de investigación y desarrollo muy bien preparado para su establecimiento y durabilidad. Así, el futuro de riego implica productividad y rentabilidad con:

- Eficiencia en agua utilice;
- Eficiencia energética;
- Eficiencia en el uso de insumos;
- Respeto al medio ambiente.

Los principales métodos de riego usados en la agricultura se presentan a continuación:

- Por arroyamiento o surcos

Aconsejable en aquellos cultivos que son sensibles al exceso de humedad por el contacto directo del agua sobre los tallos de las plantas que deseamos cultivar. Es un tipo de riego muy aconsejable cuando las plantas son de poca alzada o reptantes y con el fruto pegado al suelo (melones, calabazas, tomates etc.) o bien cuando la plantación se realiza en hileras (maíz, papas, remolacha, lechuga etc.). En el primer caso lo aconsejable sería surcos en forma de U y en las hileras la forma de V, aunque hay que aclarar que la forma del surco está también en relación con la mayor o menor velocidad de absorción que tenga la tierra y por tanto de su mayor o menor permeabilidad.

- Ventajas:

No moja toda la superficie (puede ser un riego localizado)

Se construyen pequeños canales (surcos) que conducirán el movimiento del agua

El agua infiltra a través del perímetro mojado

- Desventajas:

No es muy eficiente en comparación a otros tipos de riego, el Sistema de Riego por Surcos tiene un porcentaje de eficiencia de un 65%, en cambio el sistema de riego por Goteo tiene un 95% de eficiencia.

- Por inundación o sumersión, generalmente, en bancales o tablones aplanados entre dos caballones.
- Por aspersión. El riego por aspersión rocía el agua en gotas por la superficie de la tierra, asemejándose al efecto de la lluvia

- Ventajas:

El consumo de agua es menor que el requerido para el riego por surcos o por inundación;

Puede ser utilizado con facilidad en terrenos colinares;

Se puede dosificar el agua con una buena precisión

No afecta el material vegetal sometido a riego, ya que se elimina la presión que el agua puede ofrecer a las plantas; y como es homogénea su distribución sobre el material vegetal, el riego de la vegetación por aspersión es total y se distribuye suavemente el agua sobre toda el área deseada.

- Inconvenientes:

El consumo de agua es mayor que el requerido por el riego por goteo; siendo este muy importante en cada caso de riego

Se necesita determinar bien la distancia entre aspersores, para tener un coeficiente de uniformidad superior al 80%.

- Por infiltración o canales
- Por goteo o riego localizado

El riego de goteo libera gotas o un chorro fino, a través de los agujeros de una tubería plástica que se coloca sobre o debajo de la superficie de la tierra.

- Ventajas

El riego por goteo es un medio eficaz y pertinente de aportar agua a la planta, ya sea en cultivos en línea (mayoría de los cultivos hortícolas o bajo invernadero) o en plantas aisladas. Este sistema de riego presenta diversas ventajas desde los puntos de vista agronómicos, técnicos y económicos, derivados de un uso más eficiente del agua y de la mano de obra. Además, permite utilizar caudales pequeños de agua.

Una importante reducción de la evaporación del suelo, lo que trae una reducción significativa de las necesidades de agua al hacer un uso más eficiente gracias a la localización de las pequeñas salidas de agua, donde las plantas más las necesitan. No se puede hablar de una reducción en lo que se refiere a la transpiración del cultivo, ya que la cantidad de agua transpirada es una característica fisiológica de la especie.

La posibilidad de automatizar completamente el sistema de riego, con los consiguientes ahorros en mano de obra. El control de las dosis de aplicación es más fácil y completo.

Se pueden utilizar aguas más salinas que en riego convencional, debido al mantenimiento de una humedad relativamente alta en la zona radical.

Una adaptación más fácil en terrenos rocosos o con fuertes pendientes.

Reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas

Permite el aporte controlado de nutrientes con el agua de riego sin pérdidas por lixiviación con posibilidad de modificarlos en cualquier momento del cultivo.

Permite el uso de aguas residuales ya que evita que se dispersen gotas con posibles patógenos en el aire.

- Inconvenientes

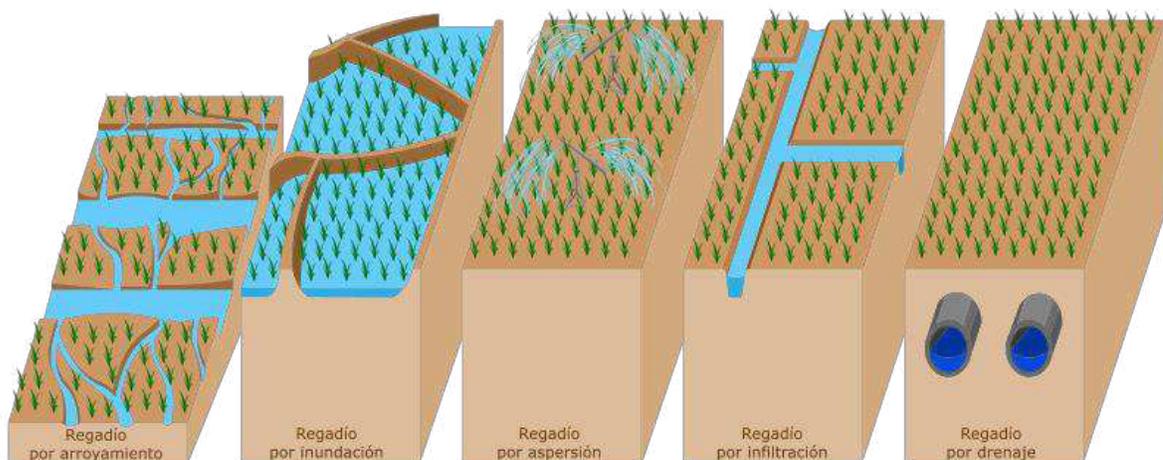
El coste elevado de la instalación. Se necesita una inversión elevada debida a la cantidad importante de emisores, tuberías, equipamientos especiales en el cabezal de riego y la casi necesidad de un sistema de control automatizado (electro-válvulas, programador).

El alto riesgo de obturación de los emisores, y el consiguiente efecto sobre la uniformidad del riego. Esto puede ser considerado como el principal problema en riego por goteo. Por ello en este sistema de riego es muy importante el sistema de filtración implantado, que dependerá de las características del agua utilizada. De hecho hay sistemas que funcionan con aguas residuales y aguas grises.

La presencia de altas concentraciones de sales alrededor de las zonas regadas, debida a la acumulación preferencial en estas zonas de las sales. Esto puede constituir un inconveniente importante para la plantación siguiente, si las lluvias no son suficientes para lavar el suelo.

Un inconveniente muy importante de este sistema tan particular, es el tapado de los orificios, por lo tanto no regarán como nosotros esperamos.

Figura 3. Esquema de sistemas de riego



FUENTE: Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica, Sandía National Laboratories

El método principal de entrega de agua al campo (para cerca del 95 % de los proyectos en todo el mundo) es el riego por inundación o de surco. Otros sistemas emplean aspersores y riego de goteo. Aunque sean técnicas relativamente nuevas, que requieren una inversión inicial más grande y manejo más intensivo que el riego de superficie, el riego por aspersión y el de goteo suponen una mejora importante en la eficiencia del uso del agua, y reducen los problemas relacionados con el riego.

Una manera moderna de regar, es la utilización de los métodos de riego por goteo y micro aspersión, que consiste en la aplicación del agua al suelo en forma localizada, es decir, sólo se moja una zona restringida del volumen radicular. Estos métodos son apropiados para zonas donde el agua es escasa, ya que su aplicación se hace en pequeñas dosis y de manera frecuente, consiguiendo con esto un mejor control de la aplicación del agua y algunos otros beneficios agronómicos. Por contra, es el sistema que requiere mayor inversión inicial.

El riego localizado supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá por tanto, a una mayor productividad. Implica un cambio profundo dentro de los sistemas de aplicación de agua al suelo que incidirá también en las prácticas culturales a realizar, hasta el punto que puede considerarse como una nueva técnica de producción agrícola. Sus principales características son:

El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical. En esto difiere sustancialmente del riego tradicional en el que predominan las fuerzas de gravedad y por tanto el movimiento vertical.

No se moja todo el suelo, sino solamente una parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del emisor y el tiempo de aplicación. En esta parte húmeda es en la que la planta concentrará sus raíces y de la que se alimentará.

El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión de agua en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es cercano a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil de conseguir con otros sistemas de riego, pues habría que regar diariamente y se producirían encharcamientos y asfixia radicular.

Utiliza pequeños caudales a baja presión.

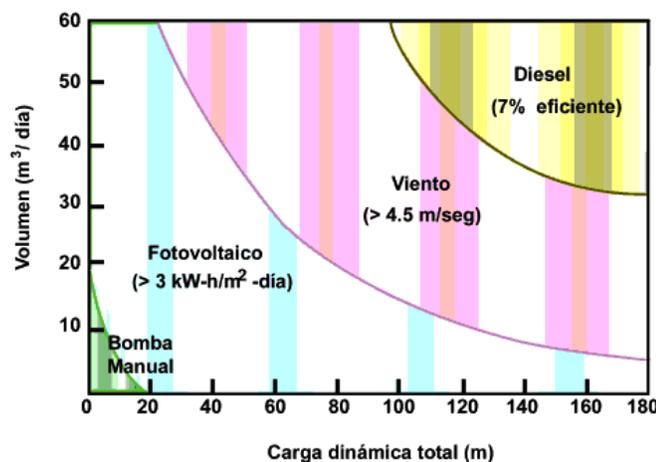
Se opera con la frecuencia necesaria para lograr un alto contenido de humedad en el suelo (riego de alta frecuencia).

Posibilidad de aplicación de otros productos químicos utilizando la infraestructura de riego, estos productos pueden tener funciones de correctores, desinfectantes del suelo, herbicidas, nematocidas, fungicidas, reguladores de crecimiento, etc.

Sistema de Bombeo Fotovoltaico

El bombeo de agua con energía solar fotovoltaica (FV) es una aplicación de especial interés en sistemas aislados. Esta tecnología ha demostrado a lo largo de los años ser un modo efectivo de suministro de agua potable para usuarios y comunidades rurales, así como para aplicaciones agrícolas (irrigación) y ganaderas (abrevaderos). Algunos estudios han demostrado que el bombeo FV puede ser competitivo en relación con la opción diesel, en el rango de los 200 a 1500 m³/día. Las necesidades básicas de agua para consumo humano (mínimo vital) en áreas rurales de países pobres se ha estimado en 20 l/día.

Figura 4. Comparación Tecnologías de Bombeo Volumen vs Carga Dinámica



FUENTE: Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica, Sandía National Laboratories

El sistema FV de bombeo de agua típico tiene una potencia nominal en torno a 1 kWp, suministrando del orden de 30 m³/día a 25 metros de altura. Recientemente estos valores se están modificando ligeramente, especialmente en aplicaciones de riego en explotaciones agrícolas alejadas de la red eléctrica, aumentando el margen de competitividad de los sistemas de bombeo FV, debido principalmente al descenso del coste de los módulos FV y a la disponibilidad de sistemas de bombeo de mayor potencia y menor coste, como es el caso de la utilización de convertidores de frecuencia en sistemas de bombeo FV, analizados posteriormente. Todo ello debido a la exitosa implementación de numerosos proyectos de bombeo FV en el mundo y la buena calidad general de las instalaciones FV realizadas en los últimos años. El auge de la demanda de sistemas de bombeo fotovoltaico está siendo favorecido tanto por el incremento en la satisfacción del usuario final, debido al aumento de la calidad y eficiencia de las instalaciones, como por la amortización del sistema a corto plazo.

Tabla 6. Comparación entre opciones de sistemas de bombeo

COMPARACIÓN ENTRE OPCIONES DE SISTEMAS DE BOMBEO

TIPO DE SISTEMA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Manual	Bajos costo. Tecnología simple. Fácil mantenimiento. Limpieza. No necesita alimentación	Mantenimiento regular. Bajo caudal. Consume tiempo y energía que puede ser empelada con mayor productividad en otras actividades.
FV	Bajo mantenimiento. Limpieza. Fácil de instalar. Fiable. Larga vida. Sistemas modulares que pueden ser acoplados a las necesidades. No combustible.	Relativamente, alto coste inicial. Producción de agua dependiente de la radiación solar.
Diesel	Inversión de capital moderada. Portátil. Muy experimentadas. Fácil instalación.	Mantenimiento a menudo inadecuado, reduciendo su vida. Combustible caro y suministro intermitentemente. Problemas de ruido, suciedad y humos.

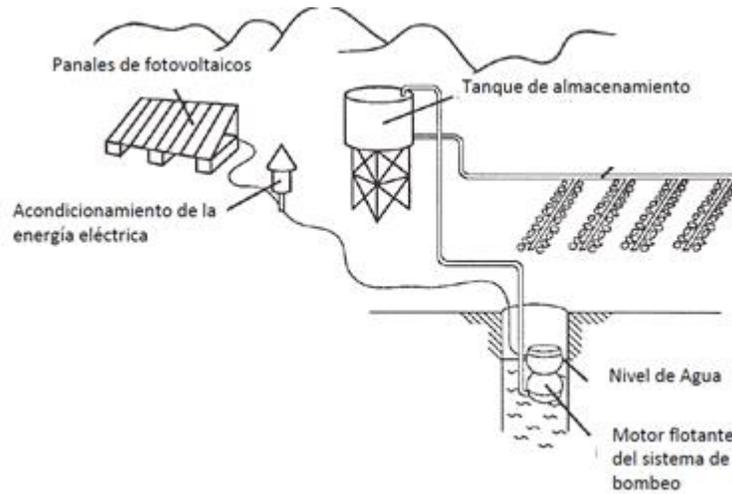
FUENTE: ENERGREENCOL, Sistemas fotovoltaicos para el bombeo de agua

Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico

Una instalación de bombeo fotovoltaico¹⁰ está compuesta principalmente por un generador FV, un motor/bomba, un pozo, un sistema de tuberías y un depósito de acumulación. Se puede disponer de un sistema de acondicionamiento de potencia (controladores DC/DC, inversores DC/AC u otros dispositivos electrónicos) de acoplo entre el generador FV al motor, para poder operar motores AC o para incrementar el rendimiento medio diario en sistemas con motores DC que accionen bombas de desplazamiento positivo. El sistema ha de estar debidamente instalado y protegido, utilizando sensores de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación para evitar el desperdicio del agua y la operación en vacío. A pesar de que se instalan bombas de superficie o flotantes, la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo.

¹⁰ Abella M., Romero F. Sistemas de Bombeo Fotovoltaico. CIEMAT Departamento de Energías Renovables.

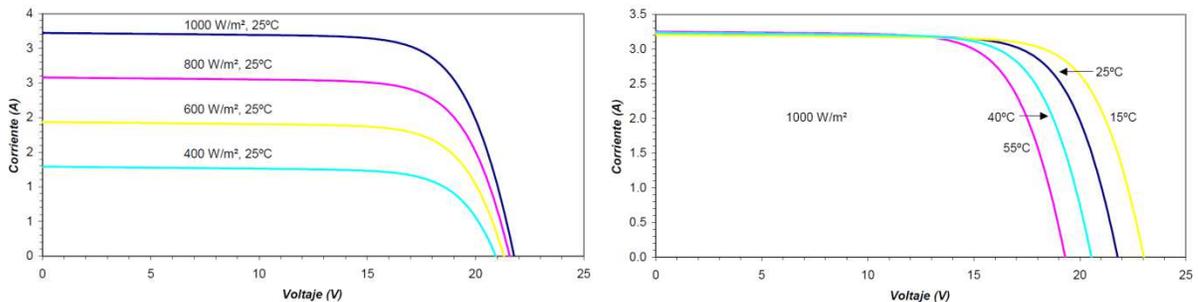
Figura 5. Esquema típico de un sistema de bombeo fotovoltaico



FUENTE: Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica, Sandía National Laboratories

Respecto al módulo fotovoltaico se deben considerar 2 efectos primordiales en su desempeño, el primero el efecto de la variación de la irradiancia, el cual produce un cambio en la corriente y en el voltaje de salida del módulo. La corriente de cortocircuito varía linealmente con la irradiancia, mientras que el voltaje de circuito abierto se ve menos afectado, presentando una dependencia logarítmica; el segundo efecto es el de la variación de la temperatura para el cual su principal consecuencia es la reducción del voltaje de circuito abierto, la corriente de cortocircuito aumenta en una proporción muy pequeña; esta variación de parámetros de las células son diferentes para cada tecnología y para cada fabricante.

Figura 6. Curvas variación I-V módulo FV. a) irradiancia incidente a 25°C b) temperatura de operación a irradiancia de 1000 W/m²



FUENTE: KYOCERASOLAR

Inclinación del arreglo fotovoltaico¹¹: La máxima energía se obtiene cuando los rayos solares llegan perpendiculares a la superficie del captador. En el caso de arreglos fotovoltaicos la

¹¹ Guía Técnica De Aplicación Para Instalaciones De Energías Renovables Instalaciones Fotovoltaicas. Consejería De Industria, Comercio Y Nuevas Tecnologías. Gobierno de Canarias

perpendicularidad entre las superficies de los módulos y los rayos solares solo se puede conseguir si las estructuras de montaje del arreglo se mueven siguiendo al Sol.

Existen estructuras de soporte del arreglo que ajustan automáticamente el azimut y/o la elevación. Estas estructuras de montaje se llaman seguidores. Generalmente el ángulo de elevación del arreglo es fijo. En algunos casos se usan seguidores azimutales. Dependiendo de la latitud del lugar, los seguidores azimutales pueden incrementar la insolación promedio anual hasta en un 25%. En el caso de que no se tenga un seguidor solar, el arreglo se monta en una estructura fija, lo cual constituye la mayoría de estructuras actuales. Este montaje tiene la ventaja de ser muy sencillo. Debido a que el ángulo de elevación del Sol cambia durante el año, se debe tener un criterio de selección del ángulo óptimo del arreglo que garantice la máxima producción de energía eléctrica. En el hemisferio Sur el Sol se declina hacia el Norte, por lo cual se requiere que los arreglos fijos se coloquen inclinados (respecto de la horizontal) viendo hacia el Norte.

El siguiente elemento es la selección del tipo de bomba que se pretende utilizar, una bomba es una máquina capaz de transformar energía mecánica en energía hidráulica, existen dos tipos básicos de bombas: las bombas de desplazamiento positivo o volumétrico y las bombas centrífugas.

Las bombas de desplazamiento positivo tienen un contorno móvil que, por cambios de volumen, obliga al fluido a avanzar a través de la máquina. Se abre una cavidad en la que el fluido penetra a través de una toma y después se cierra expulsando el fluido por la abertura de salida. Las bombas centrífugas añaden simplemente cantidad de movimiento al fluido por medio de paletas o alabes giratorios. Las bombas centrífugas están diseñadas para una altura manométrica más o menos fija y proporcionan generalmente mayor caudal que las bombas de desplazamiento positivo. Las bombas de desplazamiento positivo son apropiadas para altos incrementos de presión y bajos caudales, mientras que las bombas centrífugas proporcionan caudales elevados con bajas alturas manométricas. Las bombas centrífugas no son recomendables para profundidades de aspiración mayores de 5-6 metros y pueden tener varios estados, el número de estados depende de la altura de bombeo necesaria.

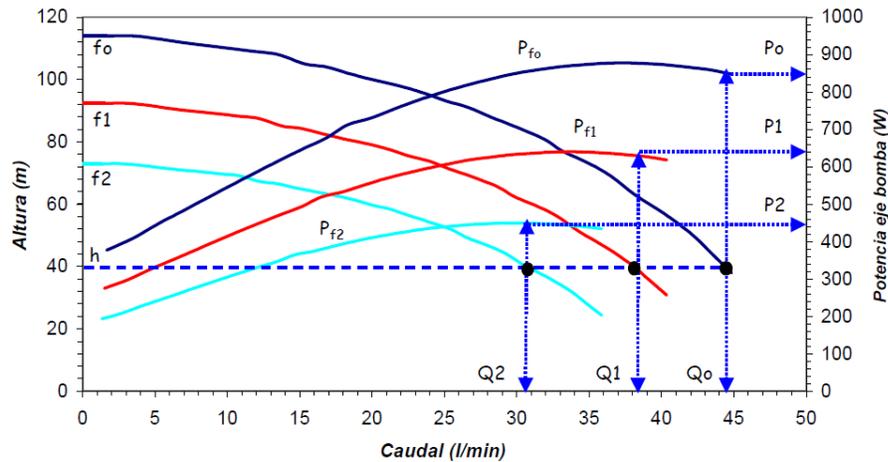
Figura 7. Intervalos comunes elección bomba



FUENTE: Guía Técnica De Aplicación Para Instalaciones De Energías Renovables Instalaciones Fotovoltaicas

Las bombas de desplazamiento positivo proporcionan un caudal aproximadamente constante directamente proporcional a la velocidad e independientemente de la altura, mientras que las bombas centrífugas proporcionan una curva caudal-altura variable.

Figura 8. Curvas h-Q-Potencia absorbida



FUENTE: GRUNDFOS

Considerando la operación a una altura constante h , se puede ver como el rendimiento aumenta cuando la frecuencia disminuye para los tres puntos mostrados. Por debajo de una determinada frecuencia la bomba no podría suministrar la altura de trabajo, h . Esto puede servir como indicación de cómo seleccionar una bomba para operación en un sistema FV, si se conoce la altura de trabajo: si se selecciona una bomba para operar en su punto de máximo rendimiento a frecuencia nominal entonces el rango de variación de frecuencia, y en consecuencia el rango de potencia de entrada, será muy estrecho, cerca de los valores nominales. Por tanto los umbrales de irradiancia y potencia de arranque serán elevados y el número de horas de operación durante un día será bajo. Una regla general cualitativa para aplicaciones fotovoltaicas es que, para una altura de trabajo dada, se ha de seleccionar una bomba cuyo punto de operación h - Q a frecuencia nominal se sitúe a la derecha del punto de máximo rendimiento. Operando a menores rendimientos a frecuencia nominal y a mayores rendimientos a bajas frecuencias se consigue incrementar el rendimiento medio diario del sistema de bombeo fotovoltaico.

Las bombas de desplazamiento positivo, en las que se incluyen las bombas de pistón, bombas de diafragma y de cavidad progresiva o helicoidal, son adecuadas para bombear pequeños caudales de pozos muy profundos. Al contrario que las bombas centrífugas, su característica par-velocidad no las hace adecuadas para operar directamente conectadas a un generador FV. Debido a la necesidad de un par prácticamente constante, necesitan una corriente constante lo que no ocurre en los generadores fotovoltaicos donde la corriente es directamente proporcional a la irradiancia. Por otro lado, si el par de operación se corresponde con la corriente del generador cerca del punto de máxima potencia, entonces, una pequeña reducción de la irradiancia tendrá como resultado una corriente insuficiente para mantener la velocidad de bombeo.

Las bombas sumergibles suelen utilizarse en pozos profundos de pequeño diámetro y normalmente están directamente al motor. Las bombas flotantes disponen de un flotador que

permite su instalación en ríos, lagos o pozos de gran diámetros flotando en la superficie del agua. En general, las bombas flotantes proporcionan mucho caudal pero a poca altura manométrica. Las bombas de superficie se instalan a nivel del suelo facilitando su mantenimiento. No obstante la profundidad de succión no debe exceder de los 8 metros. Las bombas que utilizan agua como lubricante no deben operar en seco ya que se sobrecalientan pudiendo destruirse.

Se debe considerar también el subsistema de acondicionamiento de potencia. A una temperatura y nivel de irradiancia, un generador FV tiene una característica I-V. Para maximizar la transferencia de energía, la carga eléctrica debe ser tal que su propia característica I-V intercepte a la del generador FV tan cerca del punto de máxima potencia como sea posible. El papel del circuito de acondicionamiento de potencia es proporcionar al motor/bomba la combinación más adecuada tensión/corriente, a la vez que asegurar que el generador FV opera en su punto de máxima potencia.

Los dispositivos de acondicionamiento¹² de potencia comúnmente utilizados se pueden clasificar en: dispositivos de acople de impedancia o convertidores DC/DC, inversores DC/AC, baterías.

El empleo de dispositivos de acondicionamiento de potencia tiene la función de seguir el punto de máxima potencia para transferir la máxima energía posible al motor, se colocan entre el generador y la motobomba y siempre son necesarios en el caso de bombas accionadas mediante motores AC (inversores). En general, la inclusión de estos equipos en el sistema implica pérdidas de potencia por autoconsumo y rendimiento del 4% al 7%, un coste adicional y una fuente potencial de fallos; por ello su uso solamente está justificado si el incremento en la energía hidráulica de salida es considerablemente mayor. El aumento del coste y la disminución de la fiabilidad se ven compensados por el aumento del rendimiento total del sistema.

El uso de baterías en un sistema de bombeo FV, como sistema de acondicionamiento de potencia, permite fijar un voltaje de trabajo del generador fotovoltaico, lo que hace que el sistema pueda trabajar cerca del punto de máxima potencia e independientemente del nivel de irradiancia y suministrar la corriente necesaria al motor, así como la corriente de arranque. Por otro lado, las baterías permiten almacenar la energía sobrante durante las horas de sol para reutilizarla durante las horas nocturnas o en momentos de muy baja irradiancia. De otro modo una bomba alimentada por un generador fotovoltaico suministra agua únicamente durante aquellas horas de sol que superen un cierto valor de irradiancia umbral. La introducción de baterías en un sistema de bombeo puede disminuir su fiabilidad e incrementar las necesidades de mantenimiento regular, es necesario incluir un regulador de tensión para protegerla de sobrecargas o sobredescargas, tienen un tiempo de vida limitado, en general se necesitan diodos de bloqueo para prevenir que la batería se descargue a través del generador durante la noche, además de suponer un coste adicional de la instalación.

Una forma alternativa de almacenar energía es mediante el uso de depósitos de almacenamiento de agua, los cuales, dependiendo de su capacidad, pueden proporcionar el déficit de agua en aquellos momentos en que el caudal bombeado no alcance el consumo demandado. La inclusión en el sistema de un depósito de almacenamiento hace que se pueda disminuir la potencia pico del generador.

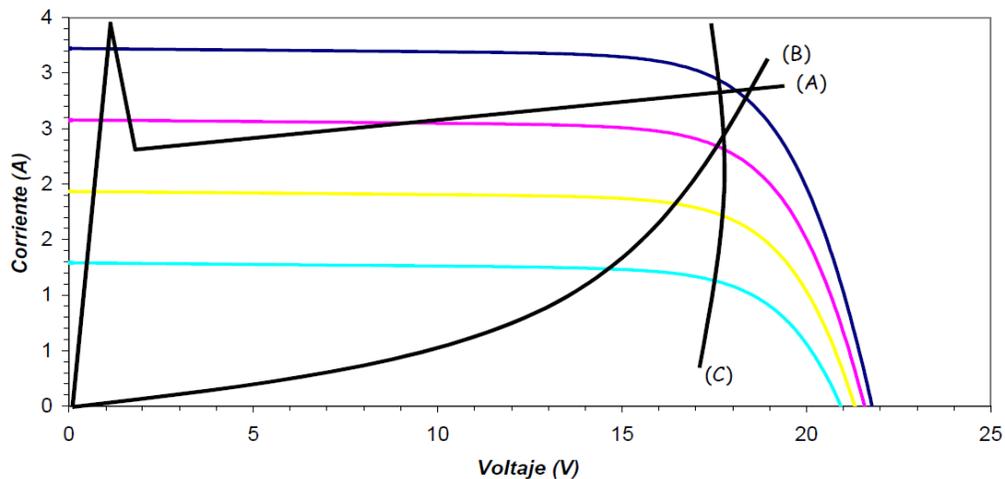
¹² Baterías para Sistemas Solares y Eólicos. DeltaVolt Energía Renovable.

En aplicaciones de riego agrícola se pueden distinguir dos tipos de almacenamiento de agua: almacenamiento a largo plazo, en el cual se almacena el agua de un mes para otro y almacenamiento a corto plazo, permitiendo almacenar agua de un día para otro, lo que permite evitar la falta de agua en determinados días de baja radiación solar. El almacenamiento a largo plazo necesita depósitos de gran volumen que lo hacen económicamente no aconsejables en la mayoría de los casos a no ser que ya estén disponibles por otras razones. Por contra, se aconseja el uso de pequeños depósitos de almacenamiento a corto plazo. En general sólo es justificable si el caudal bombeado durante las horas de sol resulta insuficiente para satisfacer la demanda de agua. En este tipo de aplicaciones resulta recomendable el almacenamiento energético en forma de energía hidráulica mediante la utilización de un depósito de acumulación en lugar de utilizar baterías.

En el acoplo de cada uno de los componentes descritos anteriormente, esto es, generador, motor y bomba, se ha de cumplir que la potencia de entrada al motor sea igual a la potencia de salida del generador, lo mismo sucede con el voltaje y la corriente, en consecuencia el punto de operación o punto de trabajo resultante de la conexión de un generador fotovoltaico y un subsistema motor-bomba se obtiene buscando el punto de corte de las curvas I-V características de cada uno de ellos. Uno de los factores que determinan el rendimiento diario de un sistema de bombeo, y que es necesario tener en cuenta en su diseño, son los cambios a lo largo del día de la radiación solar. Estas variaciones están determinadas por el ciclo diario de salida y puesta del sol y por la climatología reinante. La variación de la temperatura de operación supone un desplazamiento hacia la izquierda (si la temperatura aumenta) o derecha (si disminuye) del punto de máxima potencia del generador y es un importante factor a tener en cuenta esencialmente en sistemas que operen a tensión de generador FV constante.

Para maximizar la transferencia de potencia eléctrica del generador al motor, el grupo motor-bomba y el generador fotovoltaico debe elegirse de tal modo que sus curvas I-V se intercepten lo más cerca posible del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.

Figura 9. Características I-V de diferentes cargas acopladas a un generador FV



FUENTE: KYOCERASOLAR

Dependiendo del tipo de motor y del tipo de bomba, algunos subsistemas se adaptan mejor al generador fotovoltaico que otros. Por ejemplo, como se indica en la anterior figura, las bombas centrífugas o los sistemas con baterías se aproximan bastante bien el punto de máxima potencia del generador, operando en condiciones normales de diseño (curva A). En cambio otros subsistemas, como sucede en el caso de las bombas de desplazamiento positivo, no se adaptan bien al punto de máxima potencia y el rendimiento del sistema es bajo (curva B). En el caso de que el sistema disponga de un seguimiento del punto de máxima potencia (curva C) el acoplo del sistema de bombeo FV con el generador FV es próximo al ideal ya que el punto de trabajo coincide con el punto de máxima potencia del generador FV.

Teniendo en cuenta lo anterior se pueden identificar algunas configuraciones típicas de sistemas de bombeo fotovoltaico, estas configuraciones para un sistema de bombeo FV puede venir determinado por la combinación de distintos tipos de motores (DC o AC) con distintos tipos de bombas (centrífugas o de desplazamiento positivo).

- a) Sistemas de baja potencia (50 a 400 Wp) que utilizan principalmente un motor DC accionando una bomba de desplazamiento positivo (de membrana). Entre el generador FV y el motor se instala un convertidor DC/DC para mejorar su acoplo. Ejemplos de este tipo lo constituyen los sistemas Solarjack SDS o Shurflo 9300.
- b) Sistemas de media potencia (400–1500Wp), en los que se puede identificar dos configuraciones diferentes: una bomba centrífuga sumergible multiestado con motor asíncrono accionado por un inversor de frecuencia variable (como los sistemas Grundfos solares SA400 y SA1500) y los formados por un motor DC sin escobillas (que en este rango de potencias pueden tener un rendimiento mayor que los motores de inducción trifásicos convencionales y aún mayor que los motores de inducción monofásicos) operando una bomba de desplazamiento positivo helicoidal.
- c) Sistemas de bombeo FV está basado en la utilización de convertidores de frecuencia (FCs) industriales en aplicaciones de potencia superior al kWp. El número de sistemas de bombeo fotovoltaico que han demostrado tanto un elevado grado de fiabilidad como buen rendimiento de operación no son muy numerosos: muchos tienen diseños muy especiales (como puede ser por ejemplo la utilización de motores trifásicos a 68V) y resultan caros comparados con el coste del bombeo convencional. Además existe una limitación en cuanto a la potencia disponible (los mayores no superan los 1600Wp). Las necesidades de volúmenes de agua demandados, especialmente para aplicaciones de riego agrícola, son cada vez mayores lo que implica a su vez un aumento de la potencia instalada de los sistemas. Actualmente hay sistemas de potencia superior a los 10 kWp en operación. La utilización de convertidores de frecuencia en aplicaciones de bombeo fotovoltaico ofrece una solución viable, eficiente y económica.

El acoplo de cada uno de los componentes del sistema de bombeo fotovoltaico (generador, motor, bomba) puede adoptar diferentes configuraciones dependientes de la tecnología de los productos disponibles en el mercado y de las especificaciones y necesidades particulares de cada aplicación. Las cuatro configuraciones más comúnmente instaladas son:

- Motobomba sumergible, con motor DC o AC y bomba centrífuga multiestado. El número de estados es función de la altura requerida.
- Motobomba sumergible de desplazamiento positivo.

- Motobomba flotante con motor DC y bomba centrífuga.
- Unidades motor-bomba instaladas en la superficie. La bombas pueden ser centrífugas o de desplazamiento positivo.

Un sistema solar de bombeo tiene que tener en cuenta que la demanda de agua para uso agrícola variará a lo largo del año. La demanda punta durante la época de regadío es con frecuencia más del doble de la demanda media. Esto significa que las bombas solares para regadío pueden ser infra-utilizadas durante la mayor parte del año aunque puede producirse una reducción de la fuerza del sol durante esos períodos reduciendo el lado del suministro de la ecuación.

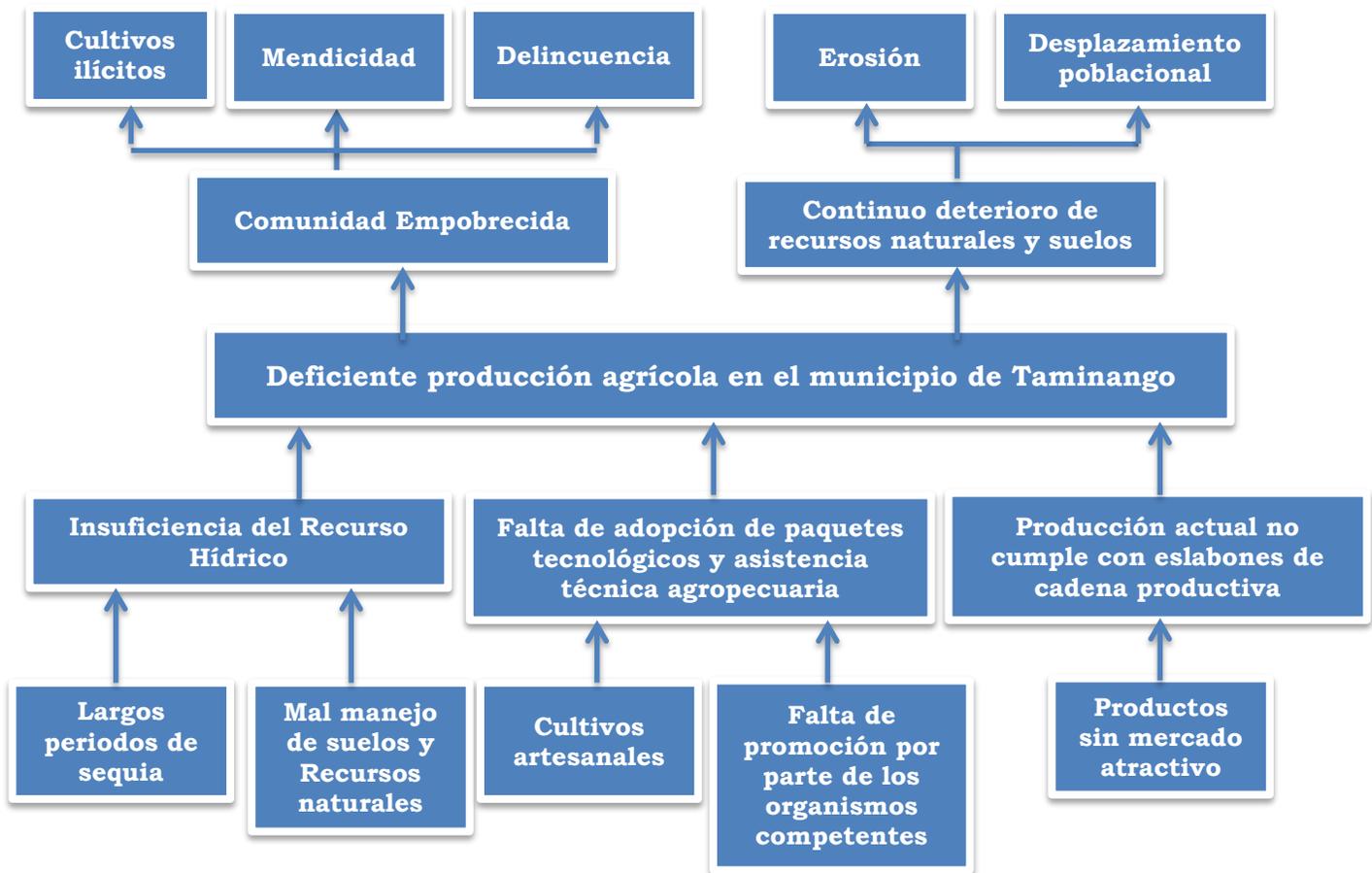
3.3. PROBLEMA CENTRAL, CAUSAS Y EFECTOS

El territorio del municipio de Taminango presenta un elevado nivel de probabilidad a sequías durante todas las épocas del año, la contaminación ambiental y un mal uso de los recursos naturales y suelos ha generado procesos de deterioro ambiental y ha propiciado a la deficiencia e insuficiencia del recurso hídrico para la población, especialmente en el sector agrícola.

De igual forma, se ha identificado que la mayoría de cultivos sembrados son utilizados para el consumo familiar como alimentos básicos y que los ingresos netos por cosecha en el promedio del área sembrada en la zona, solo es equivalente al 39% de un salario mínimo mensual vigente, lo cual es un presenta un ingreso insuficiente para poder suplir las condiciones básicas de sustento para las familias del municipio.

La carencia de apoyo e intervención de la administración Municipal en la organización de los procesos de producción, transformación y comercialización también se resalta como una de las bases de la problemática actual por cuanto existe un desconocimiento en los componentes de una cadena productiva tanto por parte de los agricultores como por parte de los entes gubernamentales y sus dependencias.

Figura 10. Problemática sistema de Bombeo Taminango (Nariño)



4. FORMULACIÓN DE LA ALTERNATIVA

4.1. NOMBRE DE LA ALTERNATIVA

ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA RIEGO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE TAMINANGO

4.2. RESUMEN DE LA ALTERNATIVA

El bombeo de agua con energía solar fotovoltaica es una aplicación de especial interés en sistemas aislados. Esta tecnología ha demostrado a lo largo de los años ser un modo efectivo de suministro de agua potable para usuarios y comunidades rurales, así como para aplicaciones agrícolas (irrigación) y ganaderas (abrevaderos).

Los sistemas fotovoltaicos son competitivos con respecto a los sistemas convencionales cuando: se requieren cantidades pequeñas de energía, el lugar es remoto o de difícil acceso, se prefiere alta confiabilidad y bajo mantenimiento, se dispone de recurso solar suficiente, se prefiere bajo impacto ambiental; entonces debido a su bajo (nulo) costo de operación y mantenimiento, los sistemas fotovoltaicos de bombeo pueden ser económicamente más costeados a largo plazo que los sistemas de combustión interna, a pesar de su alta inversión inicial. Sin embargo, no todos los proyectos son factibles o recomendables desde el punto de vista económico. Como mínimo, el usuario o diseñador debe considerar factores como la distancia a la red convencional, el ciclo hidráulico requerido y la disponibilidad del recurso solar en el lugar, así como definir claramente hacia que fin estará destinado el sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior se optó por realizar el estudio de este proyecto para proveer una solución práctica y adaptable al proceso del diseño del sistema de riego basándose en un sistema de generación eléctrica fotovoltaica. Dadas las características propias de los sistemas fotovoltaicos, las aplicaciones de bombeo con este tipo de energía se caracterizan por tener un volumen bajo (7 – 15 litros/min), esto mantiene los costos de inversión razonablemente bajos y son aplicables a los cultivos propios de la región.

Para el desarrollo del proyecto la alternativa a tener en cuenta principalmente constituye un diseño de bomba sumergible debido a que en la región se pueden utilizar abastecimientos de este tipo para los sistemas de riego más que las fuentes hídricas como ríos y quebradas dadas las condiciones actuales de la región; el sistema se desarrollará teniendo en cuenta los requerimientos generales hídricos del ricinus communis como alternativa de producción agrícola de alto impacto para la comunidad. Los parámetros del sistema de bombeo estarán basados en consulta de sistemas similares de bombeo, las dimensiones, distancia y número de inflexiones están aproximados a las condiciones comunes de este tipo de condiciones en sistemas de bombeo.

4.3. OBJETIVOS

4.3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un sistema de bombeo fotovoltaico que permita mejorar las condiciones actuales de la producción agrícola de la población en el municipio de Taminango el cual se adecue a las necesidades actuales de la región, los agricultores y la población.

4.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar las características topográficas, ambientales y sociales del municipio de Taminango, respecto a la capacidad de implementación y necesidades de un sistema de generación energético fotovoltaico.
2. Realizar un estudio de eficiencia energética que permita determinar el alcance y el tipo de uso del sistema fotovoltaico en el municipio.
3. Realizar un análisis técnico, ambiental y social respecto a la introducción del sistema fotovoltaico de bombeo y su impacto en la comunidad (presente y futuro).

4.4. PRODUCTOS, ACTIVIDADES, PERSONAL REQUERIDO

Tabla 7. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 1.

Producto	Código Actividad	Actividad	Personal
Informe de estado del arte y proyectos similares de bombeo	1.1.1.	Realización del estado del arte y la consulta de proyectos de bombeo utilizando energía solar, indicando beneficios obtenidos, problemas en su implementación y otras variables de interés.	Pregrado Electrónico Pregrado Eléctrico Pregrado Ambiental Coordinador
	1.1.2.	Identificación de las posibles ventajas que la implementación propuesta pueda traer al proceso agrícola de la región.	Ingeniero Agrónomo Ingeniero Mecánico Coordinador
Informe que resalte beneficios del sistema fotovoltaico en la región, de igual forma en el que se detallen características ambientales de la región.	1.2.1.	Toma de datos y recopilación de información relevante sobre las características ambientales y sociales de la región	Geógrafo Ingeniero Ambiental Pregrado Electrónico Pregrado Eléctrico Pregrado Ambiental
	1.2.2.	Caracterización de los distintos tipos de cultivos de la región e identificación de posibles <i>targets</i> para el sistema de riego.	Ingeniero Agrónomo Pregrado Ambiental
	1.2.3.	Realización de un pre-análisis de capacidad solar en la región realizando mediciones de radiación promedio.	Ingeniero Eléctrico Pregrado Electrónico Pregrado Eléctrico
Informe del estado de sistema actual agrícola de región	1.3.1.	Realización de un análisis demográfico del municipio	Economista (Des) Pregrado Eléctrico Pregrado Electrónico Pregrado Ambiental
	1.3.2.	Realización de un diagnóstico de los sistemas actuales de riego utilizados en el municipio de Taminango.	Ingeniero Agrónomo Geógrafo

Tabla 8. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 2.

Producto	Código Actividad	Actividad	Personal
Estudio que describa infraestructura de sistemas de bombeo con tecnologías fotovoltaicas.	2.1.1.	Evaluación del potencial eléctrico del sistema fotovoltaico y dimensionamiento de capacidades de operación y cobertura.	Ingeniero Eléctrico Pregrado Electrónico
	2.1.2.	Determinar características técnicas del diseño del sistema de bombeo.	Ingeniero Mecánico Ingeniero Eléctrico Ingeniero Agrónomo
	2.1.3.	Análisis económico del tipo de tecnologías a usar.	Economista (Des) Coordinador
Diseño de la implementación del sistema de generación fotovoltaica.	2.2.1.	Determinar la máxima demanda de agua del cultivo <i>target</i> para elegir el sistema de bombeo	Ingeniero Agrónomo Ingeniero Ambiental
	2.2.2.	Estimación de las necesidades de potencia eléctrica para la aplicación específica.	Ingeniero Eléctrico
	2.2.3.	Elaboración de un informe general de requerimientos de infraestructura y componentes necesarios para la implementación del sistema de bombeo con energía solar.	Ingeniero Eléctrico Ingeniero Mecánico Ingeniero Agrónomo Economista (Form.) Coordinador
	2.2.4.	Determinación del mayor impacto en la comunidad respecto a la localización del sistema de bombeo y el tipo de actividad a la cual estaría destinado.	Economista (Des.) Economista (Form.) Pregrado Ambiental.

Tabla 9. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 3.

Producto	Código Actividad	Actividad	Personal
Informe de descripción de la alternativa propuesta	3.1.1.	Descripción del sistema de bombeo basado en energía solar	Coordinador Ingeniero Mecánico Ingeniero Eléctrico
	3.1.2.	Análisis de beneficios respecto a la implementación del sistema de bombeo y estimación de la opinión local.	Economista (Form.) Economista (Des.)
	3.1.3.	Estimación y proyección de costos de operación, mantenimiento y ampliación del sistema a futuro.	Economista (Form.) Coordinador
	3.1.4.	Estimación del impacto social generado con la implementación de la alternativa.	Economista (Des.) Economista (Form.) Coordinador
Esquema de alternativas empresariales sostenibles	3.2.1.	Recopilación de esquemas empresariales relacionados con asociaciones agricultoras.	Economista (Des.)
	3.2.2.	Creación de un documento guía sobre un esquema empresarial que permita la sostenibilidad agrícola de la alternativa propuesta	Ingeniero Agrónomo Economista (Des.) Coordinador

4.5. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INNOVACIÓN PROPUESTA

El proyecto de diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico se puede adecuar de manera eficiente a las necesidades que se ven reflejadas en la problemática local, la introducción de este tipo de tecnologías ha permitido el incremento en las actividades productivas y aumento en los ingresos para diferentes tipos de actividades agrícolas a lo largo del mundo, el nivel de tecnificación asociado con los sistemas de riego y adecuación propia de los suelos es uno de los principales factores que se ven reflejados en el pobre desempeño y productividad tanto a nivel regional como nacional, por lo cual desarrollar proyectos de esta naturaleza posibilita la mejoría en las condiciones económicas de la población rural.

De igual forma resaltar la importancia de buscar y enfocar la producción a bienes con mercados de demandas fuertes y con gran potencialidad para su comercialización es un elemento importante en la propuesta, el fomento de las alternativas de producción y la tecnificación del proceso agrícola deben constituir un elemento importante en las políticas locales para de este modo poder empezar a solucionar problemáticas en los sectores rurales a lo largo del país.

4.6. METODOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE RESPONSABILIDADES

Para el trabajo de este tipo de desarrollos una metodología para el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico se basa inicialmente analizando las principales características que definen los requerimientos del sistema, tanto a nivel técnico como a nivel de producción, como se puede evidenciar en la figura 11.

Figura 11. Metodología de Diseño y Evaluación de un Sistema de Bombeo Fotovoltaico

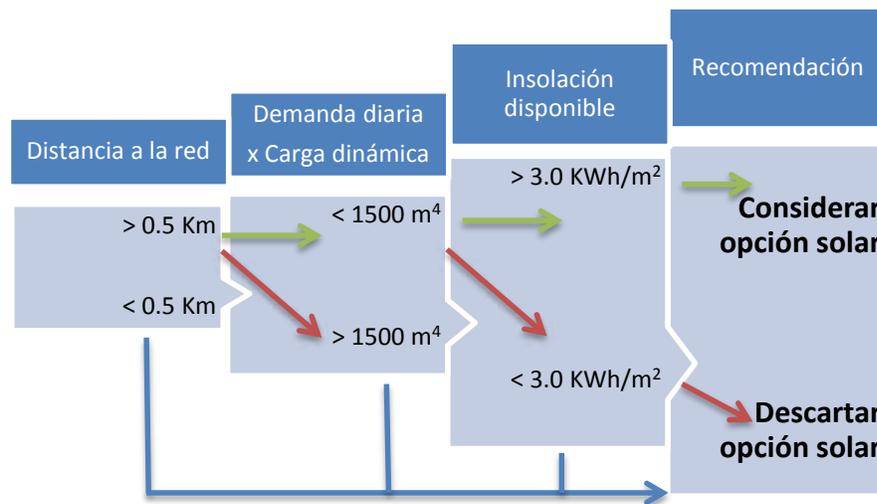


FUENTE: Elaboración propia

Para comenzar con este proceso se debe realizar un análisis climatológico de la región del municipio de Taminango, en este caso se pudo observar que los valores de radiación solar son convenientes para la implementación de un sistema fotovoltaico de baja potencia y para este tipo de finalidad (bombeo), de igual forma se obtuvieron datos respecto a otros factores climatológicos importantes referentes a la producción agrícola.

Una consideración importante y sencilla para la elección de abordar o no el problema de la solución energética se puede vislumbrar en el siguiente esquema, figura 12, en el cual de manera reducida se pueden observar los factores iniciales a ser tenidos en cuenta para la elección de la alternativa fotovoltaica.

Figura 12. Esquema de viabilidad de sistemas Fotovoltaicos



FUENTE: Elaboración propia

Dadas las características propias de los sistemas fotovoltaicos, las aplicaciones de bombeo con este tipo de energía se caracteriza por tener un volumen bajo (7 – 15 litros/min), esto mantiene los costos de inversión razonablemente bajos, y por lo tanto se adecua a las necesidades de riego para el cultivo de la higuera. Se eligió un diseño de bomba sumergible dado que en la región se pueden utilizar abastecimientos de este tipo para los sistemas de riego más que fuentes hídricas como ríos y quebradas dadas las condiciones actuales, el sistema se diseñó con base a requerimientos generales hídricos del ricinus communis. Los parámetros del sistema fueron basados en consulta de sistemas similares, las dimensiones, distancia y número de inflexiones están aproximadas a las condiciones comunes de este tipo de condiciones en sistemas de bombeo.

Cuadro 2. Resumen condiciones climatológicas Taminango

Mes	Temp. aire	Humedad relativa	Irradiancia solar diaria	Presión Atmosférica	Velocidad viento	Temp. Suelo
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C
Anual	20.0	70.3%	4.12	86.4	1.7	22.5

FUENTE: Atmospheric Science Data Center, NASA

El método de dimensionado planeado para el trabajo está basado en cálculos sobre valores medios mensuales de la energía hidráulica necesaria y de la radiación solar disponible, así como en las definiciones de rendimiento pico del subsistema motor-bomba y rendimiento energético diario. Una vez determinadas las energías medias mensuales se procede a realizar el cálculo del balance energético de cada mes para determinar el mes en el cual la demanda de agua es mayor en relación con la energía solar disponible. Este mes será el mes de dimensionado. El dimensionado de los elementos del sistema se calcula para satisfacer la demanda en este mes de dimensionado o "**peor mes**", asegurando un excedente de agua en el resto del año.

En el desarrollo de este trabajo se utilizó el software PVSyst (versión trial) para alimentar las variables necesarias en el dimensionamiento del sistema de bombeo, el software cuenta con una gran cantidad de fabricantes y dispositivos necesarios lo cual permitió elegir entre este amplio rango la solución del sistema y se propone como herramienta útil a seguir utilizando en las siguientes etapas de desarrollo.

La optimización respecto a la ubicación de los paneles se debe definir utilizando los datos climatológicos de irradiancia para el municipio de Taminango, en este caso proporcionados por el *Atmospheric Science Data Center* de la NASA y la localización geográfica del municipio. Los cálculos mostraron que una orientación de plano inclinado fijo con inclinación de 30° para efectos de automantenimiento en los paneles (agua) y un ángulo de acimut de 12° que generan un factor de transposición de 0.93 generaban una pérdida aproximada respecto al óptimo (panel horizontal) del 7.1% de energía captada anualmente. Este posicionamiento y orientación es de vital importancia para el correcto funcionamiento del sistema, por lo cual especial énfasis debe emplearse en este aspecto en el diseño del sistema fotovoltaico de bombeo.

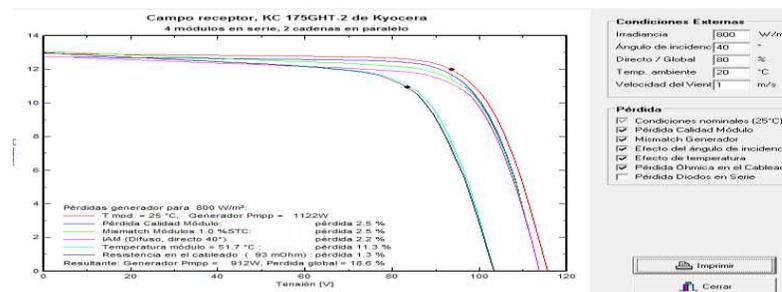
La cantidad de energía hidráulica para el caso de estudio de este proyecto se estimó en 140 KWh, lo cual constituye una aproximación aceptable a las necesidades que se vislumbran en los cultivos tenidos en cuenta por los agricultores de la región y del propuesto en este trabajo, las características del sistema como se mencionaron anteriormente fueron acondicionadas de la consulta realizada, con una profundidad de pozo de entre 15 y 20 m, la escogencia de tuberías de 1" ½ con longitud de entre 30 a 50 m y un tanque de reserva de 40 m³.

Teniendo en cuenta las necesidades propuestas y la capacidad de irradiación de la zona, se eligió una bomba Lorentz, DC de tipo centrífugo gradual PS600 SJ3-9, con potencia de 700W, voltaje nominal de 72 Volts y corriente nominal de 10 Amp. El arreglo fotovoltaico se compone entonces de módulos Kyocera KC175CHT-2 que se organizan en 2 arreglos en paralelo con 4 módulos en serie para entregar una potencia de 1.4KWp y un voltaje de operación de 83,7 Volts y 15 Amps de

corriente, suficientes para trabajar con la bomba escogida utilizando un factor de seguridad de 0.5.

El sistema de baterías se ve excluido del diseño del sistema ya que el elemento de reserva como se mencionó anteriormente lo conforma el tanque de almacenamiento, de esta forma se puede eliminar el gran costo que genera el almacenamiento eléctrico. Se utiliza un regulador de acople entre el arreglo fotovoltaico y la motobomba de tipo MPPT/CC. Las pérdidas del sistema se consideraron generalmente asignando un valor constante dado por nubosidad, suciedad y sombras repentinas para el arreglo fotovoltaico.

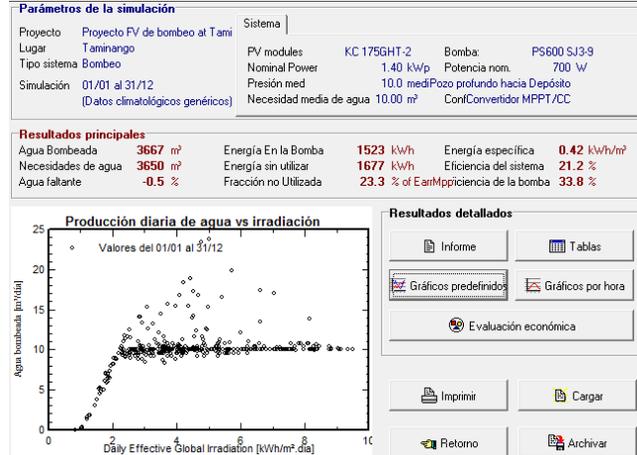
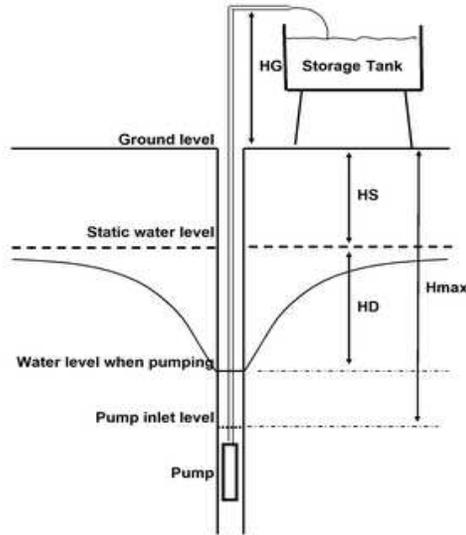
Figura 13. Gráfico de pérdidas del arreglo fotovoltaico



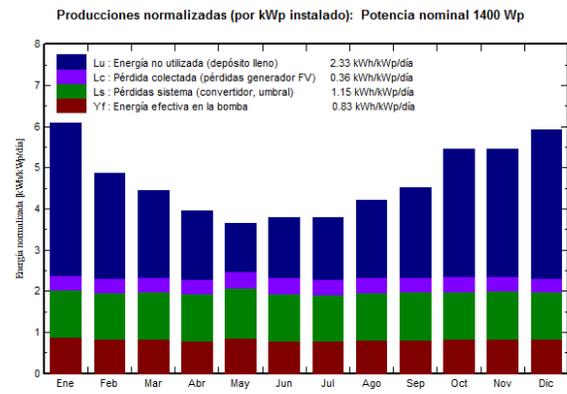
FUENTE: Elaboración propia utilizando PVsyst

A continuación se puede observar el esquema de diseño que se trabajó en este proyecto junto con las simulaciones de generación eléctrica a lo largo de un año para el sistema propuesto:

Figura 14. Resumen de diseño de sistema de bombeo fotovoltaico



PVSYST V6.12	20/11/13	Página 3/4
Sistema de Bombeo FV: Resultados principales		
Proyecto : Proyecto FV de bombeo at Taminango		
Variante de simulación : Sim1		
Parámetros principales del sistema		
Tipo de sistema	Pozo profundo hacia Depósito	
Requisitos del Sistema	Presión básica 14.0 medidorW	Necesidades de agua 10.0 m ³ /día
Bomba	Modelo/Fabricante PS600 SJ3-9 / Lorentz	
Generador FV	Modelo/Fabricante KC 175GHT-2 / Kyocera	
	N° de módulos 4 S x 2 P	P del generador 1400 Wp
Configuración del Sistema	Estrategia de Control	Convertidor MPPT/CC
Resultados principales de la simulación		
Producción del Sistema	Agua Bombeada 3667 m ³	Especifico 1880 m ³ /kWp/bar
	Necesidades de agua 3650 m ³	Agua faltante -0.5%
	Energía En la Bomba 423 kWh	Especifico 0.12 kWh/m ³
	Energía FV no utilizada (depósito lleno) 466 kWh	Fracción no Utilizada 23.3 %
	Eficiencia del sistema 21.2 %	Eficiencia de la bomba 33.8 %



FUENTE: Elaboración propia utilizando PVsyst

Con este diseño base se puede abarcar de manera general el consumo de agua para el cultivo, los costos del sistema se están evaluando respecto a la disponibilidad en el país de equipos que cubran las necesidades de diseño, se puede observar que dado el dimensionamiento existe un exceso de energía producida por lo módulos, que puede ser utilizada para otros fines (iluminación residencial, electrodomésticos), esto dependiendo fuertemente de la localización exacta del sistema fotovoltaico o puede de igual forma que el exceso de energía producida conlleve a una reformulación en el dimensionamiento del sistema para reducir los costos.

Esta metodología puede ser la base para un diseño de sistema fotovoltaico de bombeo a un nivel más completo, ya que constituye los principales aspectos tanto para diseño, implementación y planeación del horizonte del proyecto.

4.7. INDICADORES DE OBJETIVO GENERAL, DE PRODUCTO Y DE GESTIÓN

De acuerdo a lo planteado en la metodología de trabajo para el desarrollo del proyecto se definieron los indicadores que estaban relacionados con los productos propuestos.

Cuadro 3. Indicador de Objetivo General

Indicador	Meta	Unidad Medida
2000G033 Informes técnicos y financieros de ejecución presentados	Desarrollar a lo largo del proyecto informes que muestren el estado actual, la investigación realizada, la evolución de del proyecto y el proceso de planeación de este.	12
9900P017 Estudios Realizados	Entrega de un informe que describa el sistema de bombeo fotovoltaico para el aumento productivo de la región.	1
9900P061 Capacitaciones Realizadas	Informar a la comunidad del municipio acerca del proyecto, sus alcances, limitaciones, tipo de tecnología utilizada e impacto esperado	3

Cuadro 4. Indicadores de Producto

Producto	Indicador	Meta	Unidad medida
Estudio que detalle la optimización respecto a las posibilidades de localización del sistema fotovoltaico atendiendo a consideraciones técnicas, económicas y sociales.	2000P101 Metodologías para los estudios de impactos planteados	Metodología planteada para realizar dimensionamiento y diseño de sistemas de bombeo fotovoltaicos	1
	9900P082 Documento de seguimiento al PLAN nacional de Desarrollo elaborado y socializado	Definir la pertinencia del proyecto dentro de las políticas de desarrollo de la comunidad para que se acoja su posterior desarrollo y posible ejecución	1
Diseño de implementación del sistema de generación fotovoltaica y determinación del tipo de interconexión del sistema a la red de alumbrado público.	# Diseños industriales apoyados	Obtener un diseño del sistema de bombeo fotovoltaico teniendo en cuenta los componentes y especificaciones óptimos para el municipio y su población .	1
	Actividades de divulgación y difusión apoyados	Consulta a población para realizar un diseño que generé impacto en la sociedad y se acoja a las necesidades de esta	4
Informe del impacto en el municipio respecto a la	2000P104 Gestores del	Socialización referente a sistemas fotovoltaicos, sistemas	100

integración del sistema de alumbrado fotovoltaico.

conocimiento y la innovación capacitados	de bombeo, tecnificación de cultivos y creación de estamentos empresariales.	
# Actividades de divulgación y difusión apoyados	Promoción de ventajas del sistema planteado ante la comunidad, generación de un manual de resumen del sistema planteado.	1
9900P061 Capacitaciones Realizadas	Informar y capacitar a la comunidad acerca de la tecnología fotovoltaica, sus características, funcionamiento y capacidades de generación eléctrica.	5

Cuadro 5. Indicadores de Gestión

Producto	Indicador	Meta	Unidad
Estudio que describa infraestructura de sistemas de bombeo y tecnologías fotovoltaicas	2000G026 Propuestas entregadas	Estudios de las posibles configuraciones del sistema de bombeo.	1
	9900G036 Desarrollos informáticos adquiridos o actualizados	Adquisición de software de dimensionamiento fotovoltaico para mejorar el diseño y control del desarrollo.	1
Diseño de la implementación del sistema de generación fotovoltaica para el sistema de bombeo	2000G026 Propuestas entregadas	Diseños del sistema de bombeo que se adecuen a las condiciones y necesidades de la región	1
Informe de descripción de la alternativa propuesta	# Informe Técnico y financiero de ejecución presentado	Informe de diseño del sistema de bombeo y proyecciones económicas.	1
	2000G31 Proyectos de investigación aplicada generados entregados	Proyecto a nivel de perfil del sistema de bombeo fotovoltaico.	1

4.8. FUENTES DE VERIFICACIÓN Y SUPUESTOS

Tabla 10. Fuentes de Verificación y supuestos para actividades, Objetivo Específico 1.

Código Actividad	Actividad	Fuentes de Verificación	Supuestos
1.1.1.	Realización del estado del arte y la consulta de proyectos de bombeo utilizando energía solar, indicando beneficios obtenidos, problemas en su implementación y otras variables de interés.	Informe que detalle la actualidad tecnológica fotovoltaica en diferentes campos de aplicación	
1.1.2.	Identificación de las posibles ventajas que la implementación propuesta pueda traer al proceso agrícola de la región.	Informe comparativo con otras estrategias de generación eléctrica para el sistema de bombeo	
1.2.1.	Toma de datos y recopilación de información relevante sobre las características ambientales y sociales de la región	Encuestas realizadas, levantamiento de datos agrícolas de la región, certificados de permanencia.	La información obtenida es relevante. No se puede obtener un mapeo claro de la situación del sistema
1.2.2.	Caracterización de los distintos tipos de cultivos de la región e identificación de posibles <i>targets</i> para el sistema de riego.	Consultas realizadas, Informe detallado de cultivos.	No se pueda cubrir una muestra suficientemente significativa para el estudio
1.2.3.	Realización de un pre-análisis de capacidad solar en la región realizando mediciones de radiación promedio.	Memorias de información meteorológicas.	Falta de equipos para la medición
1.3.1.	Realización de un análisis demográfico del municipio	Memorias de información demográfica del municipio.	
1.3.2.	Realización de un diagnóstico de los sistemas actuales de riego utilizados en el municipio de Taminango.	Memorias de diagnóstico ambiental y de recursos hídricos y su actual uso en los procesos agrícolas	Falta de equipos para medición. Se contará con el apoyo de la comunidad para realizar este diagnóstico

Tabla 11. Fuentes de Verificación y supuestos para actividades, Objetivo Específico 2.

Código Actividad	Actividad	Fuentes de verificación	Supuestos
2.1.1	Evaluación del potencial eléctrico del sistema fotovoltaico y dimensionamiento de capacidades de operación y cobertura.	Informe de diseño	
2.1.2.	Determinar características técnicas del diseño del sistema de bombeo.	Informe de diseño	
2.1.3.	Análisis económico del tipo de tecnologías a usar.	Informe de diseño	
2.2.1	Determinar la máxima demanda de agua del cultivo <i>target</i> para elegir el sistema de bombeo	Informe de diseño	Se habrá llegado a un conceso con la comunidad agrícola acerca de que tipo (s) de cultivo (s) se debe enfocar el sistema de bombeo
2.2.2.	Estimación de las necesidades de potencia eléctrica para la aplicación específica.	Informe de diseño	
2.2.3.	Elaboración de un informe general de requerimientos de infraestructura y componentes necesarios para la implementación del sistema de bombeo con energía solar.	Informe de diseño	
2.2.4.	Determinación del mayor impacto en la comunidad respecto a la localización del sistema de bombeo y el tipo de actividad a la cual estaría destinado.	Encuestas a la población. Informe de diseño	

Tabla 12. Fuentes de Verificación y supuestos para actividades, Objetivo Específico 3.

Código Actividad	Actividad	Fuentes de Verificación	Supuestos
3.1.1.	Descripción del sistema de bombeo basado en energía solar	Informe de diseño	
3.1.2.	Análisis de beneficios respecto a la implementación del sistema de bombeo y estimación de la opinión local.	Constancia de socialización.	
3.1.3.	Estimación y proyección de costos de operación, mantenimiento y ampliación del sistema a futuro.	Informe de proyección del sistema	

3.1.4.	Estimación del impacto social generado con la implementación de la alternativa.	Constancia de socialización de la alternativa. Informe de proyección del sistema	
3.2.1	Recopilación de esquemas empresariales relacionados con asociaciones agricultoras.	Informe de esquemas empresariales	Se habrá definido una razón social para la administración de los procesos agrícolas
3.2.2.	Creación de un documento guía sobre un esquema empresarial que permita la sostenibilidad agrícola de la alternativa propuesta	Informe de esquemas empresariales	

4.9. BIENES Y/O SERVICIOS

El sistema de bombeo fotovoltaico constituye el principal bien que se plantea conseguir con el desarrollo de este proyecto, el servicio de riego para cultivos apropiados constituye el pilar de la proyección planteada en el sistema de bombeo y es una de las bazas para el mejoramiento de las condiciones económicas actuales de la población.

Otros servicios se podrían ser considerados teniendo en cuenta la inclusión de otros factores en el momento del diseño, proveer servicio eléctrico de baja capacidad o el bombeo de agua potable a comunidades caben dentro de la estructura misma del sistema fotovoltaico planteado, teniendo en cuenta que forman parte de las necesidades insatisfechas resaltadas por los planes estratégicos de la región, sin embargo las consultas, análisis y diseños para este tipo de servicios no se están considerando directamente.

4.10. BENEFICIOS DE INGRESOS

La valoración y cuantificación de los beneficios del proyecto se calculan de acuerdo al documento "Manual de Valoración y Cuantificación de Beneficios del Departamento Nacional de Planeación (2006)", siendo los beneficios del proyecto derivados de las causas y efectos directos e indirectos en la identificación del problema.

Cuadro 6. Resumen Valoración de Beneficios

ITEM	VALOR
Beneficios por generación de empleo con la implementación de un programa	\$ 135.585.000,00
Beneficio por aumento en la eficiencia en la búsqueda y procesamiento de la información	\$ 150.000.000,00
TOTAL	\$ 285.585.000,00

- Beneficios por generación de empleo con la implementación del proyecto: se contratará mano de obra calificada a nivel de expertos, técnicos, estudiantes de pregrado y maestría. El

beneficio se valora con el salario anual que se cotiza en el presupuesto de este proyecto en el año 2012, con base en la cantidad de salarios mínimos estipulados para cada una de las categorías.

Cuadro 6. Beneficios de Generación de empleo

Formación	Número de personas	Beneficio
Profesional Maestría	2	\$ 63.666.000,00
Profesional Pregrado	5	\$ 61.308.000,00
Estudiantes de pregrado	3	\$ 10.611.000,00
	TOTAL	\$ 135.585.000,00

- Beneficio por aumento en la eficiencia en la búsqueda y procesamiento de la información: la puesta en marcha del proyecto tiene como producto un documento donde se describe la metodología para la identificación de zonas con mejores oportunidades energéticas alternativas teniendo en cuenta indicadores estándar, ambientales y socioeconómicos. Se pretende obtener un diseño de solución energética utilizando un sistema de generación fotovoltaico a nivel de ingeniería de requerimiento para desarrollar un sistema de bombeo para apoyo a las actividades agrícolas.

Cuadro 7. Beneficios por aumento en la eficiencia en la búsqueda y procesamiento de la información

Descripción	Número	Valor perfil	Beneficio
Estudio de prefactibilidad solución	1	\$ 150.000.000,00	\$ 150.000.000,00
		TOTAL	\$ 150.000.000,00

4.11. HORIZONTE DEL PROYECTO

El proyecto está planeado para ser realizado en el transcurso de un año en el cual se puedan ejecutar las actividades propuestas para de este modo obtener un diseño apropiado del sistema de bombeo fotovoltaico, los cálculos de inversión necesaria, el impacto en la comunidad, la instauración de cooperativas financieras que permitan el manejo y sostenibilidad de los procesos agrícolas apoyados. El horizonte del proyecto se propone a 10 años, sin embargo este aspecto debe ser definido en una etapa superior de desarrollo del sistema en la que se tengan resultados más precisos del sistema de bombeo.

4.12. IMPACTOS ESPERADOS

Uno de los impactos esperados más importantes de este estudio es que el éxito de los programas de generación eléctrica fotovoltaica puede llegar a mejorar los desempeños en los que se implementan si en el diseño del sistema se utilizan estrategias integrales de desarrollo. Los sistemas solares fotovoltaicos, por su flexibilidad de su aplicación, representan una oportunidad única para que el sector de la energía proporcione “paquetes” de servicios a las zonas rurales

apartadas, por ejemplo para los servicios de salud, educación, comunicaciones y luz eléctrica, así como para la agricultura y el suministro de agua.

Sin embargo el impacto social es el que más interés posee en el desarrollo de este proyecto, ya que lo que se busca es dar una solución práctica a un gran problema que ha aquejado mucho tiempo a la comunidad del municipio de Taminango, si la implementación de este tipo de tecnologías aporta a la recuperación agrícola de la región, el impulso económico puede acarrear consigo beneficios indirectos muy importantes para la comunidad.

También al nivel ambiental se puede resaltar que el impacto que se tenga en el uso de recursos hídricos de la región puede ser muy importante al dar un buen uso tal como se describe en la guía de Buenas Prácticas Agrícolas a las fuentes hídricas disponibles, además el cultivo de La Higuerrilla, la innovación en el manejo y técnicas de cultivo, puede generar otros impactos ambientales como la reducción en el consumo de energía y agua y la reducción como disminución en el consumo de recursos naturales, talas y quemas de madrea, además de lograr una optimización de procesos de cultivo garantizando altos rendimientos y buenas cosechas.

De igual forma se pretende contribuir al desarrollo económico de la región y ubicar al municipio en un alto nivel de pertinencia para la obtención de recursos, sin olvidar que este se puede considerar como un proyecto multiplicativo y podría extenderse a otras zonas y regiones aptas para su implementación tanto en el departamento como en el país. Este proyecto busca fomentar la generación de un nuevo modelo productivo, del cual se espera en el futuro cercano un potencial de producción alto y eficiente; por tanto el beneficio implícito es la generación de empleo consecuente con la creación de dichas empresas.

Las constituciones de organizaciones de productores constituye uno de los impactos esperados de mayor relevancia, acarreado acceso a impactos específicos como: nuevos mercados nacionales o internacionales, empleo generado, establecimiento de alianzas estratégicas, mejoramiento de la productividad y la calidad entre otros; debido a la falta de información, desinterés, falta de conocimiento de las normas por parte de la población, se ve la necesidad de conformar la asociación y asesorarla en sus inicios para que en un futuro sean ellos los directos beneficiarios de los recursos del estado. Es claro que en la actualidad no existe una asociación como tal de productores que agrupe a campesinos existen algunos grupos sectorizados de trabajo y muchos de ellos solo pertenecen las Juntas locales Comunales, Asociaciones de desplazados y asociaciones que en su momento se conformaron pero que no están activas como tal. Además existen asociaciones de campesinos que no están interesados en el proyecto, o que no cumplen las condiciones, pero los más desprotegidos y pobres tienen la necesidad de agruparse y salir adelante, para ello se espera disponer de mutuo acuerdo y consolidar la creación de una asociación enmarcada en la producción y comercialización del grano de higuerrilla la cual se desarrollará en las localidades del municipio de Taminango.

4.13. ANÁLISIS DE RIESGOS

La falta de entrenamiento y capacitación en el manejo de recursos y formas de financiación presenta un riesgo fundamental a la hora de trabajar con los sistemas fotovoltaicos para aplicaciones de bombeo debido a su alto monto de inversión inicial, se deben identificar adecuadamente los objetivos de producción y diseñar adecuadamente el plan de negocios que

sustenté el trabajo con esta tecnología. Si existe un buen recurso solar en el lugar del proyecto (al menos 3.0 horas pico) y cuando se requiere un ciclo hidráulico menor que 1,500 m⁴ por día, los sistemas solares podrían resultar más económicos a largo plazo que los sistemas de combustión interna. Si las condiciones climáticas son adversas: radiación baja se puede presentar una insuficiencia a la hora de prestación del servicio, de igual forma el agotamiento del recurso hídrico presenta un riesgo latente que puede ser evitado con una buena elección del lugar y un buen dimensionamiento del sistema.

La adopción del sistema por parte de la comunidad es algo que no se presenta por sentado en el desarrollo, puede que exista resistencia a la utilización de esta tecnología, sin embargo se espera poder realizar las adecuadas campañas de socialización y divulgación que permitan una penetración adecuada en la comunidad agrícola del municipio.

Cuadro 9. Análisis de Riesgos

Descripción del riesgo	Probabilidad	Efectos	Impacto	Medida de Mitigación
Insuficiencia en la radiación incidente	Baja	Problemas en el diseño del sistema, reformulación de la estrategia planteada.	Muy Alto	Tener en cuenta los peores escenarios a la hora del diseño del sistema fotovoltaico.
Robo o daño de componentes de los elementos de medición	Media	Retraso en la elaboración de los diseños.	Muy alto	Tener un backup de elementos para una rápida sustitución
Cierre de la vía Pasto-Tamiango	Baja	Retraso en el cumplimiento de las actividades propuestas	Alto	Reprogramación de actividades para cumplir con cronograma, contratación extraordinaria de personal
Robo de equipo de computo	Baja	Retraso en el cumplimiento de actividades propuestas. Perdida de información.	Alto	Realizar copias de seguridad de la información trabajada en el desarrollo de la alternativa.
Total ausencia de recursos hídricos en la región de estudio	Media	Inutilización del sistema de bombeo	Muy Alto	Reubicación de la zona de estudio.

4.14. CRONOGRAMA

Producto	Actividad	MES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1. Informe de estado del arte y proyectos de bombeo similares	1.1.1. Realización del estado del arte y la consulta de proyectos de bombeo utilizando energía solar, indicando beneficios obtenidos, problemas en su implementación y otras variables de interés.	■	■										
	1.1.2. Identificación de las posibles ventajas que la implementación propuesta pueda traer al proceso agrícola de la región.	■	■										
1.2. Informe que resalte beneficios del sistema fotovoltaico en la región, de igual forma en el que se detallen características ambientales de la región.	1.2.1: Toma de datos y recopilación de información relevante sobre las características ambientales y sociales de la región	■	■										
	1.2.2: Caracterización de los distintos tipos de cultivos de la región e identificación de posibles <i>targets</i> para el sistema de riego.	■	■										
	1.2.3: Realizar un pre-análisis de capacidad solar en la región realizando mediciones de radiación promedio.	■	■										
1.3. Informe del estado del sistema agrícola actual de la región.	1.3.1. Realización de un análisis demográfico del municipio de Taminango		■	■	■								
	1.3.2. Realización de un diagnóstico de los sistemas actuales de riego utilizados en el municipio de Taminango.		■	■	■								
2.1. Estudio que describa infraestructura de sistemas de bombeo con tecnologías fotovoltaicas.	2.1.1. Evaluación del potencial eléctrico del sistema fotovoltaico y dimensionamiento de capacidades de operación y cobertura.		■	■	■								
	2.1.2. Determinar características técnicas del diseño del sistema de bombeo.			■	■	■							
	2.1.3. Análisis económico del tipo de tecnologías a usar.			■	■	■							
2.2. Diseño de la implementación del sistema de generación fotovoltaica.	2.2.1: Determinar la máxima demanda de agua del cultivo <i>target</i> para elegir el sistema de bombeo				■	■	■						
	2.2.2. Estimación de las necesidades de potencia eléctrica para la aplicación específica.				■	■	■						
	2.2.3. Elaboración de un informe general de requerimientos de infraestructura y componentes necesarios para la implementación del sistema de bombeo con energía solar.				■	■	■						
	2.2.4. Determinación del mayor impacto en la comunidad respecto a ala							■	■	■			

	localización del sistema de bombeo y el tipo de actividad a la cual estaría destinado																			
3.1. Informe de descripción de la alternativa propuesta	3.1.1: Descripción del sistema de bombeo basado en energía solar																			
	3.1.2: Análisis de beneficios respecto a la implementación del sistema de bombeo y estimación de la opinión local.																			
	3.1.3: Estimación y proyección de costos de operación, mantenimiento y ampliación del sistema a futuro.																			
	3.1.4: Socialización del proyecto y realimentación de información																			
3.2. Esquema de alternativas empresariales sostenibles	3.2.1. Recopilación de esquemas empresariales relacionados con asociaciones agricultoras.																			
	3.2.2. Creación de un documento guía sobre un esquema empresarial que permita la sostenibilidad agrícola de la alternativa propuesta.																			

Asignación	Actividad 1							Actividad 2							Actividad 3					
	1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2
Ing. Electrónico Coord.	X	X								X			X		X		X	X		X
Ing. Eléctrico					X			X	X			X	X		X					
Ing. Mecánico		X							X				X		X					
Ing. Ambiental			X								X									
Ing. Agrónomo		X		X			X		X		X		X							X
Economista Form.													X	X		X	X	X	X	
Economista Des.						X				X				X		X		X		X
Geógrafo			X				X													
P. Ing. Eléctrica	X		X		X	X														
P. Ing. Electrónica	X		X		X	X		X												
P. Ing. Ambiental	X		X	X		X							X							

4.15. PRESUPUESTO

Tabla 10. Descripción de los gastos de Talento Humano

NOMBRE	FORMACIÓN ACADÉMICA	DEDICACIÓN (h/sem)	Número	SMMLV	TOTAL
Ing. Electrónico Coord.	Maestría	40	12	\$ 3.537.000,00	\$ 42.444.000,00
Ing. Mecánico	Maestría	20	12	\$ 3.537.000,00	\$ 21.222.000,00
Ing. Eléctrico	Profesional	20	12	\$ 2.358.000,00	\$ 14.148.000,00
Ing. Ambiental	Profesional	20	4	\$ 2.358.000,00	\$ 4.716.000,00
Ing. Agrónomo	Profesional	20	12	\$ 2.358.000,00	\$ 14.148.000,00
Economista (Form)	Profesional	40	6	\$ 2.358.000,00	\$ 14.148.000,00
Economista (Des.)	Profesional	20	8	\$ 2.358.000,00	\$ 9.432.000,00
Geógrafo	Profesional	20	4	\$ 2.358.000,00	\$ 4.716.000,00
Est. Ing. Eléctrico	Pregrado	20	6	\$ 1.179.500,00	\$ 3.537.000,00
Est. Ing. Ambiental	Pregrado	20	6	\$ 1.179.500,00	\$ 3.537.000,00
Est. Ing. Electrónico	Pregrado	20	6	\$ 1.179.500,00	\$ 3.537.000,00
				TOTAL	\$ 135.585.000,00

Tabla 11. DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS Y SOFTWARE

Equipos Y Software	Justificación	Cantidad	Propiedad / Admon	Valor Unitario	Total
Piranómetro	Mediciones Irradiación	1	Universidad de Nariño	\$ 1.500.000,00	\$ 1.500.000,00
PVSystem	Dimensionamiento y optimización	1	Universidad de Nariño	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00
Módulos Fotovoltaicos	Pruebas de capacidad	2	Universidad de Nariño	\$ 700.000,00	\$ 1.400.000,00
Motobomba	Pruebas de capacidad	1	Universidad de Nariño	\$ 5.300.000,00	\$ 5.300.000,00
Dispositivos acondicionamiento	Pruebas de capacidad	1	Universidad de Nariño	\$ 1.500.000,00	\$ 1.500.000,00
Computadores	Desarrollo de actividades	10	Universidad de Nariño	\$1.500.00,00	\$ 15.000.000,00
Impresoras	Desarrollo de actividades	2	Universidad de Nariño	\$ 300.000,00	\$ 600.000,00
Proyector	Desarrollo de actividades del personal, socializaciones	1	Universidad de Nariño	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00
				TOTAL	\$ 29.800.000,00

Tabla 12. DESCRIPCIÓN DE CAPACITACIÓN Y EVENTOS

Tema de la capacitación o evento	Ciudad	No. de días	No. De personas	Costo de capacitación por persona	TOTAL
Socialización de la alternativa	Taminango	2	200	\$ 15.000,00	\$ 3.000.000,00
Divulgación información	Taminango	1	500	\$ 10.000,00	\$ 5.000.000,00
TOTAL					\$ 8.000.000,00

Tabla 13. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACIÓN

MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACION	JUSTIFICACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Materiales varios	Insumos de operación	1	\$ 5.000.000,00	\$ 5.000.000,00
Muebles de oficina	Acondicionamiento del área de trabajo	10	\$ 1.000.000,00	\$ 10.000.000,00
TOTAL				\$ 15.000.000,00

Tabla 14. DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COSTOS DE DESPLAZAMIENTOS

DESPLAZAMIENTO (origen y destino)	JUSTIFICACION	No. Días	No. De Personas	Costo de pasaje unitario	Costo total de pasajes	Costo de estadía unitario	Costo total estadía	TOTAL
Pasto – Taminango (Análisis y Pruebas)	Visitas Técnicas, toma de datos meteorológicos, análisis del sistema actual	30	8	\$ 30.000,00	\$ 240.000,00	\$ 69.630,00	\$ 16.711.200,00	\$ 16.951.200,00
Pasto – Taminango (Socializaciones)	Visitas de socialización a la comunidad	5	5	\$ 30.000,00	\$ 150.000,00	\$ 69.630,00	\$ 1.740.750,00	\$ 1.890.750,00
Psto – Taminango (Capacitaciones)	Mostrar a la comunidad los avance y funcionalidades de la alternativa	4	10	\$ 30.000,00	\$ 120.000,00	\$ 69.630,00	\$ 2.785.200,00	\$ 2.905.200,00
				TOTAL	\$ 150.000,00	TOTAL	\$ 2.785.200,00	\$ 21.747.150,00

**Plan de Energización Rural Sostenible para el
Departamento de Nariño
(PERS-NARIÑO)**

Convenio Interinstitucional 110 de 2012

Universidad de Nariño

José Edmundo Calvache
RECTOR

Andrés Pantoja
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Darío Fajardo
COORDINADOR ADMINISTRATIVO PERS

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)

Ángela Cadena
DIRECTORA GENERAL

Olga Leandra Rey
COORDINADORA TÉCNICA PERS

Brenda Roncancio
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

**USAID, Programa de Energías Limpias para
Colombia (CCEP)**

José Eddy Torres
DIRECTOR GENERAL
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Catalina Álvarez
SUBDIRECTORA
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

**Instituto de Planificación y Promoción de
Soluciones Energéticas para las Zonas no
Interconectadas (IPSE)**

Carlos Neira
DIRECTOR

Jairo Quintero
COORDINADOR TÉCNICO PERS