

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS



TESIS

“ENERGIZACIÓN SUSTENTABLE PARA EL DESARROLLO  
DEL SECTOR RURAL ALTOANDINO DEL PERÚ, BASADA  
EN EL POTENCIAL ENERGÉTICO RENOVABLE. CASO DE  
ESTUDIO: SAN FRANCISCO DE RAYMINA, AYACUCHO”

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y  
EFICIENCIA ENERGÉTICA

ELABORADO POR:

**CARLOS ALBERTO SALVADOR TIXE**

ASESOR:

**Dr. MANFRED HORN MUTSCHLER**

LIMA – PERÚ

2021

## **Agradecimientos**

Agradezco infinitamente a mis padres y hermanos por el apoyo que me brindaron en cada momento y sobre todo por depositar su confianza en mí.

A todos los profesores que me orientaron en el transcurso de esta formación, en especial y por el cual tengo una gran admiración a mi asesor el Dr. Manfred Horn Mutschler, por su paciencia, conocimiento, consejos, enseñanzas y tiempo brindado para lograr este propósito. A la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) por crecer en sus aulas, por la formación que me ha brindado a lo largo de mis estudios profesionales y de posgrado.

Agradezco a CIENCIAACTIVA de la CONCYTEC por el financiamiento económico que me permitió llevar a cabo una estancia académica en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM) con el tema de trabajo “Desarrollo de Técnicas y Tecnología para la Sustentabilidad Energética con Energías Limpias No Convencionales”.

Un agradecimiento especial al Dr. David Morillón Gálvez, Coordinador de Grupos en Tecnologías para la Sustentabilidad del IIUNAM, no solo por apoyarme y compartir su enorme experiencia y conocimiento, sino por incentivarme en todo momento a dar lo mejor de mí.

A mis compañeros de la maestría, con quienes compartí gratos momentos y a todas las personas que estuvieron cerca de mí todo este tiempo.

¡GRACIAS!

# ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2	HIPÓTESIS .....	6
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4	OBJETIVO GENERAL .....	8
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
1.6	METODOLOGÍA.....	8
1.6.1	<i>Diagnóstico energético de la comunidad</i> .....	9
1.6.2	<i>Evaluación de los recursos energéticos renovables</i> .....	9
1.6.3	<i>Desarrollo de estrategias para mejorar las condiciones de los servicios básicos de energía en la comunidad</i> .....	9
1.6.4	<i>Planteamiento de propuestas tecnológicas para el uso de las energías renovables</i> .....	9
1.7	ANTECEDENTES .....	10
1.7.1	<i>Caso Mundial</i> .....	10
1.7.2	<i>Caso Peruano</i> .....	13
<b>II.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1	MARCO CONCEPTUAL.....	17
2.1.1	<i>Energía</i> .....	17
2.1.2	<i>Potencia</i> .....	17
2.1.3	<i>Energía eléctrica</i> .....	17
2.1.4	<i>Usos de la Energía</i> .....	17
2.1.5	<i>Demanda de energía en zonas rurales</i> .....	18
2.1.6	<i>Eficiencia energética</i> .....	18
2.1.7	<i>Energización rural</i> .....	19
2.1.8	<i>Desarrollo rural</i> .....	19
2.1.9	<i>Desarrollo Sustentable</i> .....	19
2.1.10	<i>Transferencia Tecnológica</i> .....	19
2.1.11	<i>Clasificación de las fuentes de energía</i> .....	20
2.1.12	<i>Energías No Renovables</i> .....	20
2.1.13	<i>Energías Renovables</i> .....	20
2.1.14	<i>Recursos Energéticos Renovables (RER)</i> .....	20
2.1.15	<i>Potencial de Energías Renovables en el Perú</i> .....	23
2.1.16	<i>Tecnologías Renovables</i> .....	27
2.1.17	<i>Sistemas Energéticos</i> .....	31
2.1.18	<i>Aplicaciones Energéticas</i> .....	38
2.2	MARCO REGULATORIO SOBRE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL PERÚ .....	39
<b>III.</b>	<b>ACASO DE ESTUDIO: COMUNIDAD SAN FRANCISCO DE RAYMINA.....</b>	<b>40</b>
<b>IV.</b>	<b>SITUACIÓN ENERGÉTICA DE SAN FRANCISCO DE RAYMINA .....</b>	<b>43</b>
4.1	DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO .....	43
4.1.1	<i>Servicio de energía eléctrica en la comunidad</i> .....	43
4.1.2	<i>Usos energéticos de la leña</i> .....	47
4.1.2.1	<i>Cocción de alimentos</i> .....	47
4.1.2.2	<i>Calentamiento de agua y calefacción de viviendas</i> .....	48
4.1.3	<i>Uso de la Energía Solar</i> .....	48
4.1.3.1	<i>Generación de electricidad</i> .....	48
4.1.3.2	<i>Calentamiento de agua</i> .....	48
4.1.3.3	<i>Calefacción de viviendas</i> .....	49
4.1.4	<i>Proyectos desarrollados con uso de las energías renovables en la comunidad</i> .....	49
4.2	EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES .....	58
4.2.1	<i>Instrumentación utilizada</i> .....	58

4.2.2	Recurso Energético Solar.....	60
4.2.3	Recurso Energético Eólico .....	61
4.2.4	Recurso Energético de la Biomasa .....	66
4.2.5	Recurso Energético Hídrico .....	67
<b>V.</b>	<b>DESARROLLO DE ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE LOS SERVICIOS BÁSICOS DE ENERGÍA EN LA COMUNIDAD.....</b>	<b>70</b>
5.1	APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA SUSTENTABLE .....	70
5.2	TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA LA COMUNIDAD.....	70
5.3	COBERTURA DE LOS SERVICIOS BÁSICOS ENERGÉTICOS.....	70
5.4	ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS RENOVABLES IMPLEMENTADAS .....	71
<b>VI.</b>	<b>PROPUESTAS TECNOLÓGICAS PARA EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES .....</b>	<b>72</b>
6.1	PLANTA FOTOVOLTAICA .....	72
6.1.1	<i>Características generales de la planta fotovoltaica .....</i>	<i>73</i>
6.1.1.1	Potencia del generador fotovoltaico ( $P_{GFV}$ ) .....	73
6.1.1.2	Potencia del inversor.....	73
6.1.1.3	Banco de baterías de Litio .....	73
6.1.1.4	Inclinación óptima de los módulos ( $\beta$ ) .....	74
6.1.1.5	Separación mínima entre 2 filas de módulos .....	74
6.1.1.6	Área de superficie requerida para el generador fotovoltaico ( $A_L$ ) .....	75
6.1.1.7	Producción de energía eléctrica estimada ( $E_{AC}$ ) .....	76
6.1.1.8	Productividad final anual ( $Y_F$ ) .....	76
6.1.1.9	Productividad de referencia anual ( $Y_R$ ).....	76
6.1.1.10	Coeficiente global de rendimiento anual (PR).....	77
6.1.1.11	Costo energético nivelado (LCOE) .....	77
6.2	USO DE TERMAS SOLARES .....	79
6.3	IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTORES TUBULARES.....	80
6.4	APLICACIÓN DE TÉCNICAS BIOCLIMÁTICAS PARA LA CALEFACCIÓN DE VIVIENDAS RESIDENCIALES .	80
6.5	PROMOVER EL USO DE COCINAS ECOEFICIENTES.....	82
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>
	<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS .....</b>	<b>92</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> IMAGEN DE UNA FAMILIA DEL ÁREA RURAL ALTOANDINA DEL PERÚ QUE VIVE EN ESTADO DE POBREZA ENERGÉTICA (DIARIO EL COMERCIO, 2010). .....	3
<b>FIGURA 2.</b> PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN QUE TIENE ACCESO A LA ELECTRICIDAD. EVOLUCIÓN DEL COEFICIENTE DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN PERÚ (INEI, 2019). .....	4
<b>FIGURA 3.</b> VISTA DE LA ESCUELA RURAL SUSTENTABLE CONSTRUIDO EN URUGUAY (OMEP, 2016).....	10
<b>FIGURA 4.</b> IMAGEN DEL SISTEMA PSHS TERCERA GENERACIÓN DE 5-10 W <sub>p</sub> (FERNÁNDEZ, 2015). .....	11
<b>FIGURA 5.</b> VISTA DE INSTALACIÓN DE KIT HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR DE 1,4 kW (ITER, 2011). .....	14
<b>FIGURA 6.</b> IMAGEN DE LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA CONSTRUIDA EN LA COMUNIDAD SAN FRANCISCO DE RAYMINA, AYACUCHO-PERÚ (CER-UNI, 2012). .....	15
<b>FIGURA 7.</b> IMAGEN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN LA ISLA TAQUILE, PUNO (CER-UNI, 2001). .....	16
<b>FIGURA 8.</b> ATLAS SOLAR DEL PERÚ (DGER/MINEM, 2012). .....	23
<b>FIGURA 9.</b> POTENCIAL EÓLICO DEL PERÚ (EBENTREICH, 2016). .....	24
<b>FIGURA 10.</b> POTENCIAL HIDROELÉCTRICO TÉCNICO DEL PERÚ A NIVEL DE CUENCAS (DGER/MINEM, 2012). .....	24
<b>FIGURA 11.</b> ZONAS CON MANIFESTACIONES GEOTERMALES EN EL PERÚ (DGER/MINEM, 2012). .....	25
<b>FIGURA 12.</b> POTENCIAL ENERGÉTICO DISPONIBLE CORRESPONDIENTE A RESIDUOS BIOMÁSICO (ASSUREIRA E. D.L.G. & ASSUREIRA M., 2014). .....	26
<b>FIGURA 13.</b> MODELO CONCEPTUAL DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO CONVENCIONAL (SENER, 2014).....	28
<b>FIGURA 14.</b> COEFICIENTES DE POTENCIA TÍPICOS PARA ROTORES DE DIVERSA GEOMETRÍA (EDEVI, 2004) .....	28
<b>FIGURA 15.</b> CONFIGURACIÓN TÍPICA DE SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA EÓLICA DE EJE HORIZONTAL (PINILLA, 1997)....	29
<b>FIGURA 16.</b> VISTA DIGESTOR TIPO BATCH (SOLUCIONES PRÁCTICAS, 2009). .....	30
<b>FIGURA 17.</b> BIODIGESTOR MODELO CHINO (SOLUCIONES PRÁCTICAS, 2009).....	30
<b>FIGURA 18.</b> DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UN SCAES (ADAPTADO DEL ADEME, 2000). .....	31
<b>FIGURA 19.</b> EJEMPLOS GRÁFICOS DE LOS DIFERENTES SECADORES SOLARES (IBÁÑEZ ET AL., 2004). .....	33
<b>FIGURA 20.</b> CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES SOLARES Y MÉTODOS DE SECADO (IBÁÑEZ ET AL., 2004).....	33
<b>FIGURA 21.</b> DESTILADOR SOLAR DE BATEA (IBÁÑEZ ET AL., 2004). .....	34
<b>FIGURA 22.</b> (IZQ.) VISTA DE COCINA DE ACUMULACIÓN TIPO CAJA. (DER.) COCINA PARABÓLICA DE CONCENTRACIÓN (BUN-CA, 2002B). .....	35
<b>FIGURA 23.</b> DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO (IES, 2008). .....	35
<b>FIGURA 24.</b> ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN TÍPICA DE UNA AEROBOMBA (EDEVI, 2004).....	36
<b>FIGURA 25.</b> ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN DE UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA (EDEVI, 2004).....	37
<b>FIGURA 26.</b> VISTA PANORÁMICA DE LA COMUNIDAD SAN FRANCISCO DE RAYMINA. ....	40
<b>FIGURA 27.</b> MAPA DE UBICACIÓN DE LA COMUNIDAD DE RAYMINA (ESPINOZA, 2014). .....	41
<b>FIGURA 28.</b> PRINCIPALES CULTIVOS DE LA COMUNIDAD SAN FRANCISCO DE RAYMINA (EN PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN). .....	42
<b>FIGURA 29.</b> VISTA DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICO DE 5 KVA LOCALIZADO EN LA COMUNIDAD DE RAYMINA. ....	44
<b>FIGURA 30.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL CONSUMO ELÉCTRICO SEGÚN EL USO EN LOS HOGARES. ....	45
<b>FIGURA 31.</b> PERFIL TÍPICO DIARIO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA COMUNIDAD SAN FRANCISCO DE RAYMINA (BASADA EN INFORMACIÓN BRINDADA POR ELECTROCENTRO S.A.). .....	46
<b>FIGURA 32.</b> COMBUSTIBLE UTILIZADO PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS (EN PORCENTAJE EN USO). .....	47
<b>FIGURA 33.</b> (IZQ.) VISTA EXTERIOR DEL INVERNADERO. (DER.) VISTA INTERIOR DEL INVERNADERO. ....	51
<b>FIGURA 34.</b> (IZQ.) VISTA FRONTAL DEL INVERNADERO FAMILIAR. (DER.) VISTA INTERIOR DEL INVERNADERO FAMILIAR, PRODUCCIÓN DE HIERBAS Y HORTALIZAS. ....	52
<b>FIGURA 35.</b> (IZQ.) VISTA FRONTAL DEL SECADOR SOLAR. (DER.) VISTA INTERIOR DEL SECADOR SOLAR. ....	52
<b>FIGURA 36.</b> VISTA DEL MOLINO DE GRANOS EXPUESTA A LA INTEMPERIE. ....	53
<b>FIGURA 37.</b> (IZQ.) VISTA EXTERIOR DE LAS DUCHAS SOLARES. (DER.) VISTA INTERIOR DE LAS DUCHAS SOLARES. ....	53
<b>FIGURA 38.</b> VISTA DE LAS COCINAS SOLARES TIPO CAJA. ....	54
<b>FIGURA 39.</b> (IZQ.) VISTA FRONTAL DE LA PLANTA DE ELABORACIÓN DE QUESOS. (DER.) VISTA POSTERIOR. ....	54
<b>FIGURA 40.</b> VISTA DE LA COCINA MEJORADA IMPLEMENTADA EN LA VIVIENDA DEL POBLADOR BENEFICIARIO ULISES CASTRO ROJAS. ....	55
<b>FIGURA 41.</b> (IZQ.) VISTA FRONTAL DEL ALBERGUE COMUNAL BIOCLIMÁTICO. (DER.) VISTA INTERIOR DE LA SALA Y DE DORMITORIOS. ....	56
<b>FIGURA 42.</b> VISTA DEL MÓDULO EXPERIMENTAL DE VIVIENDA (MEV). .....	56

<b>FIGURA 43.</b> (IZQ.) VISTA DE VIVIENDAS QUE CUENTAN CON TECHOS AISLADOS TÉRMICAMENTE CON LANA DE OVEJA. (DER.) VISTA DE VIVIENDA QUE PRESENTA AISLAMIENTO HIGROTÉRMICO DE PISOS. ....	57
<b>FIGURA 44.</b> IMÁGENES DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA HOBO INSTALADA (CER-UNI, 2012). ....	59
<b>FIGURA 45.</b> GRÁFICA ENERGÍA SOLAR DIARIA PROMEDIO MENSUAL EN SAN FRANCISCO DE RAYMINA.....	60
<b>FIGURA 46.</b> GRÁFICA VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO MENSUAL EN SAN FRANCISCO DE RAYMINA.....	61
<b>FIGURA 47.</b> DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL ANUAL PARA LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA LOCALIDAD. ....	63
<b>FIGURA 48.</b> GRÁFICA DENSIDAD DE POTENCIA VS VELOCIDAD DE VIENTO.....	64
<b>FIGURA 49.</b> ROSA DE LOS VIENTOS PARA LA COMUNIDAD DE RAYMINA. ....	64
<b>FIGURA 50.</b> VISTA DEL ARROYO QUE TRANSCURRE POR LA COMUNIDAD DE RAYMINA. ....	67
<b>FIGURA 51.</b> DISTANCIA MÍNIMA DE SEPARACIÓN ENTRE MÓDULOS. ....	74
<b>FIGURA 52.</b> ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA EN LA LOCALIDAD. ....	78
<b>FIGURA 53.</b> (IZQ.) VISTA DEL RECIBO SUMINISTRO Y CONSUMO DEL POBLADOR ORLANDO SOCA. (DER.) VISTA DEL RECIBO SUMINISTRO Y CONSUMO DEL LOCAL COMUNAL DE RAYMINA. ....	96
<b>FIGURA 54.</b> (IZQ.) VISTA COCINA MEJORADA. (DER.) VISTA COCINA DE BARRO. ....	96
<b>FIGURA 55.</b> (IZQ.) VISTA COCINA GLP. (DER.) VISTA COCINAS TRADICIONALES DE TRES PIEDRAS. ....	96
<b>FIGURA 56.</b> VARIABILIDAD DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA LOCALIDAD. ....	98
<b>FIGURA 57.</b> COMPARATIVO CURVAS TEMPERATURA VS TIEMPO DE LAS COCINAS EVALUADAS.....	107
<b>FIGURA 58.</b> VISTA DE LOS COMPONENTES DE LA COCINA CON SISTEMA DE MICROGASIFICACIÓN.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> TIPO DE ALUMBRADO QUE UTILIZAN LOS HOGARES SEGÚN CONDICIÓN DE POBREZA EN EL PERÚ (PORCENTAJE RESPECTO DEL TIPO DE ALUMBRADO Y CONDICIÓN DE POBREZA) (INEI, 2020).....	4
<b>TABLA 2.</b> TIPO DE COMBUSTIBLE QUE USAN LOS HOGARES PARA COCINAR LOS ALIMENTOS EN EL PERÚ (PORCENTAJE RESPECTO DEL TOTAL DE HOGARES DE CADA CONDICIÓN DE POBREZA) (INEI, 2020). .....	5
<b>TABLA 3.</b> ESTÁNDARES MÍNIMOS DE ACCESO TOTAL A LA ENERGÍA (SOLUCIONES PRÁCTICAS, 2012). .....	18
<b>TABLA 4.</b> CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ESPECTRO SOLAR (DUFFIE & BECKMAN, 2013). .....	21
<b>TABLA 5.</b> POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DEL PERÚ (DGER/MINEM, 2012). .....	25
<b>TABLA 6.</b> POTENCIAL ENERGÉTICO POR RESIDUO (ASSUREIRA E. D.L.G. & ASSUREIRA M., 2014).....	26
<b>TABLA 7.</b> POTENCIAL DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL PERÚ (IRENA, 2014; MINEM, 2014; VÁSQUEZ ET AL., 2017). .....	27
<b>TABLA 8.</b> COMPARACIÓN DE 4 TIPOS DE SECADORES SOLARES (IBÁÑEZ ET AL., 2004).....	34
<b>TABLA 9.</b> DEMANDA DE BIOGÁS ASOCIADA CON VARIAS APLICACIONES (OLIVEROS, 2014). .....	38
<b>TABLA 10.</b> APLICACIONES ENERGÉTICAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES (TAMAYO, 2011). .....	38
<b>TABLA 11.</b> REGULACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL PERÚ (MITMA, 2015).....	39
<b>TABLA 12.</b> MEDIOS DE TRANSPORTE PARA TRASLADARSE DE LIMA A LA COMUNIDAD DE RAYMINA. ....	41
<b>TABLA 13.</b> NIVEL EDUCATIVO DE LA POBLACIÓN. ....	42
<b>TABLA 14.</b> DEMANDA ENERGÉTICA EN LA COMUNIDAD DE RAYMINA. ....	43
<b>TABLA 15.</b> INVERSIÓN ESTIMADA EN ELECTRIFICACIÓN DE LAS ZONAS RURALES DE AYACUCHO. ....	44
<b>TABLA 16.</b> DATOS TÉCNICOS DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. ....	45
<b>TABLA 17.</b> CONSUMO PROMEDIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS HOGARES. ....	45
<b>TABLA 18.</b> FUENTES DE ILUMINACIÓN DOMÉSTICA EN LA LOCALIDAD. ....	46
<b>TABLA 19.</b> COCINAS EMPLEADAS PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS. ....	47
<b>TABLA 20.</b> CONSUMO Y COSTO MENSUAL DE COMBUSTIBLE PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS.....	47
<b>TABLA 21.</b> COCINAS EMPLEADAS EN LA LOCALIDAD PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA Y CALEFACCIÓN DEL HOGAR.....	48
<b>TABLA 22.</b> PROYECTOS DESARROLLADOS POR EL CER-UNI EN LA LOCALIDAD APROVECHANDO LAS ENERGÍAS RENOVABLES. ....	50
<b>TABLA 23.</b> ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA (ONSET, 2019). ....	58
<b>TABLA 24.</b> ENERGÍA SOLAR DIARIA PROMEDIO MENSUAL EN LA LOCALIDAD. ....	60
<b>TABLA 25.</b> VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO MENSUAL EN LA LOCALIDAD. ....	61
<b>TABLA 26.</b> PARÁMETROS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA LA COMUNIDAD DE RAYMINA. ....	62
<b>TABLA 27.</b> DENSIDAD DE POTENCIA DEL VIENTO POR MES EN LA LOCALIDAD. ....	63
<b>TABLA 28.</b> POBLACIÓN DE GANADO VACUNO Y OVINO. ....	66
<b>TABLA 29.</b> RENDIMIENTO EN BIOGÁS DE ALGUNOS DESECHOS ORGÁNICOS (OLIVEROS, 2014). ....	66
<b>TABLA 30.</b> ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA LOCALIDAD. ....	66
<b>TABLA 31.</b> ANÁLISIS FODA: SITUACIÓN ENERGÉTICA DE LA LOCALIDAD. ....	69
<b>TABLA 32.</b> PRESUPUESTO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA DE 4,5 kW <sub>p</sub> EN LA COMUNIDAD DE RAYMINA. ....	72
<b>TABLA 33.</b> SUPERFICIE REQUERIDA POR CADA kW <sub>p</sub> DE MÓDULO FOTOVOLTAICO (APES, 2014).....	75
<b>TABLA 34.</b> VALORES PARA LAND FACTOR SEGÚN LA LATITUD DEL LUGAR.....	75
<b>TABLA 35.</b> INVERSIÓN ESTIMADA PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE VIVIENDAS EN LA LOCALIDAD.....	78
<b>TABLA 36.</b> CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA.....	79
<b>TABLA 37.</b> PRESUPUESTO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TERMAS SOLARES EN VIVIENDAS.....	79
<b>TABLA 38.</b> PRESUPUESTO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTORES TUBULARES. ....	80
<b>TABLA 39.</b> PRESUPUESTO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE INVERNADEROS EN VIVIENDAS. ....	81
<b>TABLA 40.</b> PRESUPUESTO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CLARABOYAS EN TECHOS. ....	81
<b>TABLA 41.</b> PRESUPUESTO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TECHOS CON AISLAMIENTO TÉRMICO A BASE DE LA LANA DE OVEJA. ....	81
<b>TABLA 42.</b> CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE UTILIZADO (CARBONAL, 2018).....	106
<b>TABLA 43.</b> REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE COMPARACIÓN DE COCINAS EN LA LOCALIDAD. ....	106
<b>TABLA 44.</b> CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LAS COCINAS.....	107

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo aprovechar las energías renovables como herramienta para lograr la sustentabilidad energética de la región altoandina del Perú. Este trabajo analiza la situación energética de la comunidad rural San Francisco de Raymina, ubicada en la Región Ayacucho a 3798 msnm. Sobre la base de un diagnóstico energético de la localidad, identificando las necesidades energéticas básicas, y una evaluación del potencial de las energías renovables del lugar, se proponen estrategias y tecnologías eficientes con el uso de energías renovables para la energización sustentable. Las alternativas tecnológicas que se plantean resultan ser técnicamente apropiadas y económicamente viables y tienen por finalidad dar solución al problema de déficit de energía que presenta la localidad; así como también contribuir en el desarrollo de actividades productivas de manera sustentable para mejorar la calidad de vida de los pobladores.

Los principales resultados muestran que todas familias en la comunidad utilizan la leña como fuente energética principal para diferentes usos (cocción de alimentos, calentamiento de agua y calefacción de sus hogares). El 70,8 % de la población combina para la cocción de alimentos el uso de cocinas de leña con cocinas de GLP. El consumo de energía eléctrica en los hogares es para iluminación, 36 %, y electrodomésticos, 64 % (TV color, DVD, radio, licuadora, plancha, equipo de sonido y cargador de celular). El consumo promedio diario de electricidad de toda la comunidad resulta ser 17,56 kWh, y el consumo promedio mensual de electricidad por familia es de 12,50 kWh. En general, el recurso energético renovable de mayor aprovechamiento en la comunidad es la energía solar. La radiación solar diaria media anual que recibe la comunidad San Francisco de Raymina resulta 5,30 kWh/m<sup>2</sup>-día. Particularmente, como la localidad tiene un suministro de electricidad muy limitado, típico de muchos pueblos similares, insuficiente para el desarrollo de actividades productivas, se propone una instalación fotovoltaica local y para la calefacción de viviendas, se proponen diseños bioclimáticos con sistemas solares pasivos, apropiados para la región, como ya se utiliza, parcialmente, con éxito.



## ABSTRACT

The present research work aims to take advantage of renewable energies as a tool to achieve energy sustainability in the high Andean region of Peru. This work analyzes the energy situation of the rural community San Francisco de Raymina, located in the Ayacucho Region at 3798 masl. Based on an energy diagnosis of the community, identifying the basic energy needs, and an evaluation of the renewable energy potential of the place, strategies are developed and efficient and viable technologies are proposed with the use of renewable energies for the sustainable energization. The technological alternatives that are proposed are technically appropriate and economically viable, and aims to solve the problem of energy deficit that presents the community, as well as to contribute to the development of productive activities in a sustainable manner, to improve the quality of life of the inhabitants.

The main results show that 100 % of families in the community use firewood as the main energy source for different uses (cooking food, water heating and heating of their homes). For cooking food, 70,8 % of the population combines the use of wood-burning stoves with LPG stoves. Electricity consumption in households is for lighting, 36 %, and domestic appliances, 64 % (TV, DVD, radio, blender, iron, sound equipment and cell phone charger). The average daily electricity consumption of the entire community is 17,56 kWh, and the average monthly electricity consumption per family is 12,5 kWh. In general, the most widely used renewable energy resource in the community is solar. The average annual daily solar radiation received in San Francisco de Raymina is 5,30 kWh/m<sup>2</sup>-día. Particularly, as the community has very limited electricity supply, typical for many similar villages, insufficient for the development of productive activities, a local photovoltaic installation is proposed and for the necessary heating of the houses, solar passive bioclimatic designs, appropriate for the region, are proposed, as already partially and successfully in use.

## I. INTRODUCCIÓN

En el documento presentado por la Naciones Unidas “Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2018”, se analiza y describe el avance logrado hasta la fecha para alcanzar los 17 ODS y su compromiso con la Agenda 2030<sup>1</sup>. En lo referente, al Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos, se destaca lo siguiente:

- El 13,0 % de la población mundial aún no tiene acceso a servicios modernos de electricidad.
- 3 000 millones de personas (4 de 10 personas) aún no tienen acceso a tecnologías y combustibles limpios para cocinar y dependen de la madera, el carbón, el carbón vegetal o los desechos de origen animal para cocinar y calentar la comida.
- La energía es el factor que contribuye principalmente al cambio climático y representa alrededor del 60,0 % de todas las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (Naciones Unidas, 2018).

En la actualidad, millones de personas todavía viven con menos de USD 1,90 al día (umbral actual de la pobreza extrema)<sup>2</sup>. La energía desempeña una importante función para numerosas necesidades básicas de las personas, así como para la agricultura y el desarrollo económico de las comunidades rurales (Suárez, 2016).

La energía es crucial para alcanzar casi todos los ODS por el papel que cumple tanto en la erradicación de la pobreza como en los avances en materia de salud, educación, suministro de agua e industrialización, y en la lucha contra el cambio climático<sup>3</sup>. Las zonas rurales y sus recursos naturales y humanos son la piedra angular de la economía, especialmente en los países en desarrollo, y deberían ser objeto, por lo tanto, de más atención en las prioridades del desarrollo (Van Campen et al., 2000).

En el Perú, cerca de 7 millones de peruanos son pobres, y alrededor de 1 millón de personas vive en condición de pobreza extrema (INEI, 2020). La población más pobre y vulnerable

---

<sup>1</sup> El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible (ODS). Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

<sup>2</sup> Véase <http://www.bancomundial.org/es/about/annual-report>

<sup>3</sup> ONU CE y S. Progresos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible “Informe del Secretario General”. 2016 pág.12.

se ubica en el sector rural altoandino donde predominan comunidades cuya población vive bajo condiciones de pobreza extrema, caracterizado por la falta de acceso a los servicios energéticos básicos.

En esta tesis, se hace un análisis de la situación energética que presenta una comunidad rural altoandina de Perú localizada en el distrito de Huambalpa, provincia de Vilcashuamán, Región Ayacucho, ubicado a 3798 msnm. Asimismo, se estudian los recursos energéticos renovables disponibles del sector. Finalmente, se plantean y desarrollan estrategias para la aplicación de tecnologías apropiadas que aprovechen el potencial energético de la zona con la finalidad de lograr una comunidad sustentable.

El suministro de servicios energéticos básicos adecuados es un requisito indispensable para facilitar el proceso de mejora y el progreso de los sectores más pobres y vulnerables del Perú. El trabajo que se presenta es una herramienta útil, sujeto a mejoras, pero valioso, considerando la carencia de información documentada sobre este tema en el país.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de energía dentro del territorio rural incide de manera negativa en las condiciones de calidad de vida de los habitantes rurales e igualmente dificulta el desarrollo de las actividades domésticas y la productividad agropecuaria, labores que influyen en el desarrollo rural (Ladino P., 2011). El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad (USMP, 2016).

Según el Informe Técnico del INEI : Evolución de la pobreza monetaria 2008-2019, en la actualidad, la pobreza en el Perú aqueja al 20,2 % de la población que en cifras equivalen a 6 millones 564 mil 93 personas; la pobreza extrema afecta al 2,9 % de la población del país, que involucra a 942 mil 370 personas. De acuerdo al área de residencia, la pobreza extrema afecta al 9,8 % de la población del área rural; la mayoría de ellas habita en los sectores rurales altoandinos, donde la topografía resulta ser accidentada y compleja. Estos sectores, en gran medida, viven en estado de pobreza energética. La figura 1 muestra la imagen de una familia que vive en condición de pobreza extrema en el Perú.



**Figura 1.** Imagen de una familia del área rural altoandina del Perú que vive en estado de pobreza energética (Diario el Comercio, 2010).

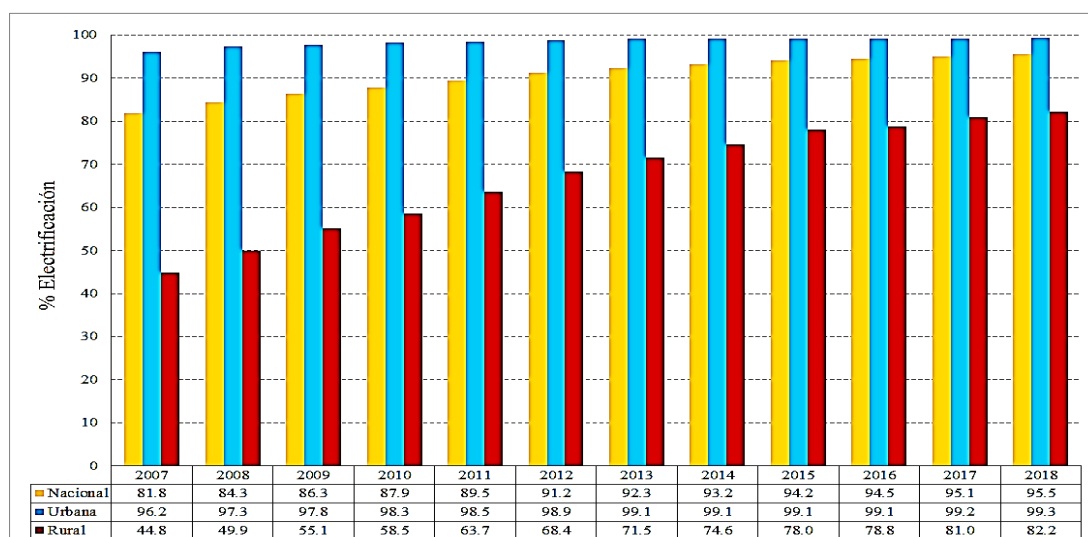
Sin energía, en especial energía eléctrica, no puede haber desarrollo. La población que habita en los sectores rurales altoandinos se ven obligadas a usar pilas, velas y mecheros, gastando alrededor de 40 nuevos soles mensuales en iluminación de baja calidad (Verástegui, 2012). Lo más preocupante es la contaminación que se produce al interior de sus viviendas a causa del uso de combustibles que provocan serios problemas de salud.

A continuación, la tabla 1 muestra los diferentes tipos de alumbrado que se utiliza en poblaciones que habitan en condición de pobreza.

**Tabla 1.** Tipo de alumbrado que utilizan los hogares según condición de pobreza en el Perú (Porcentaje respecto del tipo de alumbrado y condición de pobreza) (INEI, 2020).

Tipo de alumbrado utilizado	Condición de pobreza 2019 <sup>4</sup>	
	Pobre no extremo (%)	Pobre extremo (%)
Energía eléctrica por red pública	89,7	80,4
Kerosene(mechero / lamparín)	0,0	0,0
Petróleo /gas (lámpara)	0,8	1,3
Vela	4,5	7,4
Generador	0,1	0,4
Otro	4,9	8,9
No utiliza	1,2	3,0

Según el reporte de la International Energy Agency (IEA, 2017), el umbral de consumo inicial mínimo de electricidad para las áreas rurales es de 250 kWh al año y para las áreas urbanas de 500 kWh al año. En nuestro país, según OSINERGMIN, el consumo energético mínimo es de 230 Wh/día para las viviendas de zona rural no conectadas a la red eléctrica. De acuerdo con el INEI-ODS 2019<sup>5</sup>, en el Perú, el coeficiente de electrificación a nivel nacional en el año 2018 se estimó en 95,5 %, y la electrificación rural alcanzó el 82,2 % de los hogares (ver figura 2). Existen hoy en día todavía amplios sectores de la población rural altoandina que no disponen de electricidad para uso de equipos eléctricos.



**Figura 2.** Porcentaje de la población que tiene acceso a la electricidad. Evolución del coeficiente de electrificación rural en Perú<sup>6</sup> (INEI, 2019).

<sup>4</sup> Elaboración propia sobre la base del INEI-Encuesta Nacional de Hogares. Perú: Evolución del Tipo de Alumbrado que utilizan los hogares según condición de pobreza, 2008-2019.pág. 90.

<sup>5</sup> INEI Sistema de Monitoreo y Seguimiento de los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

<sup>6</sup> Elaboración propia sobre la base del INEI-ODS, 2019.

Los pobladores de los sectores rurales altoandinos todavía utilizan leña como fuente energética para diversos usos domésticos (cocinar, calentar agua y calefacción del hogar). Una familia con una cocina tradicional de tres piedras consume aproximadamente 10 kg de leña por día. Por cada kg de leña consumido se emite a la atmósfera 1,8 kg de CO<sub>2</sub> (EnDev/GIZ, 2011). La tabla 2 muestra los diferentes tipos de combustible para la cocción de alimentos que utilizan las familias que viven en condición de pobreza.

**Tabla 2.** Tipo de combustible que usan los hogares para cocinar los alimentos en el Perú (Porcentaje respecto del total de hogares de cada condición de pobreza) (INEI, 2020).

Tipo de combustible para cocinar utilizado	Condición de pobreza 2019 <sup>7</sup>	
	Pobre no extremo (%)	Pobre extremo (%)
Solo gas 1/	29,2	7,4
Gas y otro combustible 2/	37,1	32,9
Utilizan leña 3/	18,4	33,1
Otro 4/	14,7	23,7

1/ Incluye GLP y gas natural.

2/ Además del gas (GLP y Natural) usan leña, carbón, electricidad y kerosene.

3/ Incluye también ramas secas, tusa de maíz, etc.

4/ Son hogares que utilizan carbón o kerosene o más de un combustible contaminante para cocinar los alimentos.

En cuanto a la calefacción de los hogares, la precariedad de las viviendas de las zonas rurales referidas y el grado de pobreza de sus habitantes incrementa su vulnerabilidad al frío hasta el límite extremo del fallecimiento de niños y ancianos (Espinoza et al., 2018). La carencia de infraestructura energética en las zonas altoandinas ha sido un factor condicionante, entre otros, para mejorar la calidad de vida de los pobladores.

El Estado Peruano y diversas instituciones privadas llevaron a cabo diferentes proyectos de energización rural para el desarrollo del sector rural altoandino. El impacto de estos esfuerzos ha sido limitado. Muchas de las tecnologías utilizadas habitualmente no fueron las más apropiadas y sistemáticamente evaluadas; aún existen muchos hogares en estas zonas que carecen de estos servicios y se valen de otras fuentes de energía, los cuales son costosas e ineficientes. Se tiende a replicar soluciones estandarizadas que, difícilmente, se adaptan a las necesidades de cada zona.

<sup>7</sup> Elaboración propia sobre la base del INEI-Encuesta Nacional de Hogares. Perú: Evolución del Tipo de Combustible que usan los hogares para cocinar los alimentos, según condición de pobreza, 2008-2019, pág. 93.

Distintas experiencias alrededor del mundo demuestran que proyectos no adecuados pueden ser más perjudiciales que beneficiosos (Schäfer et al., 2011; Escobar et al., 2012). En general, no se contemplan las necesidades energéticas vinculadas a actividades productivas o estrategias de desarrollo local (Garrido et al., 2014).

Algunas de las razones por los que los proyectos desarrollados en zonas altoandinas del Perú no tuvieron éxito fueron por desconocimiento del sector, por no contar con un diagnóstico energético adecuado, falta de capacitación y sensibilización en las poblaciones para la adopción y apropiación de las tecnologías implementadas.

La problemática de la población en condición de pobreza y extrema pobreza se manifiesta fundamentalmente en la falta de energía. Hacer un buen estudio de la situación energética del sector es determinante para proponer soluciones tecnológicas.

Ante el problema energético presentado, hace falta analizar nuevas fuentes de energía, que sean confiables, no contaminen y se encuentren al alcance de las poblaciones andinas. La sustentabilidad del uso de energías renovables en poblaciones rurales del Perú está íntimamente ligada a responder las siguientes preguntas:

1. ¿En qué medida los proyectos de energización rural satisfacen las necesidades energéticas básicas de la población y mejoran la condición de vida de los mismos?
2. ¿En qué medida la aplicación de tecnologías limpias y renovables pueden mejorar y proveer un servicio eficiente, confiable y de calidad para lograr la energización sustentable de las poblaciones rurales?

## **1.2 HIPÓTESIS**

A partir de la definición de las estrategias y tecnologías propuestas para el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables para la energización, se logrará la sustentabilidad energética del sector rural altoandino del Perú.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la información brindada por el INEI<sup>8</sup>, en referencia a la población peruana que habita en condición de pobreza y pobreza extrema: a la fecha alrededor de 840 mil no cuentan con energía eléctrica (2,6 % total de peruanos), 326 mil utilizan velas para alumbrarse (1,0 % total de peruanos), y 1,4 millones utilizan leña para la cocción de alimentos, calentamiento de agua y calefacción de sus hogares (4,1 % total de peruanos). 643 mil pobladores, que habitan en las zonas altoandinas, viven bajo condiciones de pobreza extrema, caracterizado, entre otros, por la falta de acceso a la energía para cocción de alimentos, iluminación, calentamiento de agua, calefacción de sus viviendas y para aplicaciones productivas. Algunas poblaciones, de estos sectores, cercanas a los puntos de alimentaciones de red ya cuentan con energía eléctrica; sin embargo, esto no es suficiente para hacer frente a sus necesidades productivas, tal como es el caso de la comunidad en estudio.

Por otra parte, el Perú es un país privilegiado no solo por contar con un alto potencial energético hidroeléctrico, sino que también se cuenta con energía solar, eólica geotérmico y biomásico (Mitma, 2015). Las regiones altoandinas, cuentan con un gran potencial de energía solar, mayor de 5 kWh/m<sup>2</sup>día, en promedio mensual, durante todo el año (Horn, 2009). En algunas regiones, el nivel de irradiación diaria por año se registra en 250 W/m<sup>2</sup> (6 kWh/m<sup>2</sup>día). Se estima un potencial de energía solar aprovechable no menor a 25 000 MW (Escobar et al., 2016). En las últimas décadas, se desarrollaron proyectos utilizando energías renovables para la energización rural, muchas se encuentran en un estado precario por no contar con mantenimiento adecuado. La energización rural de las poblaciones altoandinas, es posible con la utilización de "tecnologías renovables". La variedad de fuentes de recursos energéticos renovables disponibles en estos sectores permiten una diversidad de oportunidades para el desarrollo sustentable.

Por todo lo anteriormente expuesto, el presente trabajo de investigación confronta los problemas de falta de energía de la comunidad de Raymina y plantea soluciones tecnológicas limpias, eficientes y viables, los cuales aprovechan los recursos energéticos renovables del lugar como una alternativa sustentable para mejorar los niveles de vida de la población.

---

<sup>8</sup> Datos estadísticos sobre la base del Informe Técnico : Evolución de la pobreza monetaria 2008-2019.



## **1.4 OBJETIVO GENERAL**

EL objetivo general es aprovechar las fuentes de energía renovables como instrumento para lograr la sustentabilidad energética de la región rural altoandina del Perú.

## **1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos son:

- Analizar la situación energética de una comunidad altoandina.
- Identificar las necesidades energéticas básicas.
- Estudiar los recursos energéticos renovables.
- Diagnosticar las tecnologías para usos productivos, implementadas en el lugar.
- Desarrollar estrategias y proponer tecnologías eficientes y viables con el uso de energías renovables para la energización sustentable.

## **1.6 METODOLOGÍA**

La metodología empleada en este trabajo de investigación se basó en el análisis de cuatro puntos, aplicados a la comunidad rural altoandina San Francisco de Raymina en Ayacucho.

- a) Diagnóstico energético de la comunidad.
- b) Evaluación de los recursos energéticos renovables.
- c) Desarrollo de estrategias para mejorar las condiciones de los servicios básicos de energía en la comunidad.
- d) Planteamiento de propuestas tecnológicas para el uso de energías renovables.

Analizar el tema energético desde la óptica territorial presenta múltiples ventajas (Belmonte et al., 2009), ya que permite, entre otras cosas:

- Identificar los recursos energéticos renovables potenciales.
- Analizar la demanda energética.
- Identificar las prioridades energéticas.

### **1.6.1 Diagnóstico energético de la comunidad**

Se determinó y analizó el uso y costo de energía, basado en encuestas domiciliarias, dirigidas al jefe del hogar para identificar las necesidades energéticas básicas de cada familia y de la población en general. También se inspeccionaron las tecnologías para actividades productivas, implementadas en la comunidad de Raymina con energías renovables.

### **1.6.2 Evaluación de los recursos energéticos renovables**

Se estudió el potencial energético renovable aprovechable de la comunidad (solar, eólico, biomasa e hídrico). Para la evaluación de los recursos energéticos solar y eólico, se analizó los registros de datos de una estación meteorológica (HOBO Micro Station Data Logger H21-002), instalada en la localidad por el CER-UNI<sup>9</sup>. Para la disponibilidad de energía de biomasa, se estimó la producción de biogás a partir de los residuos sólidos orgánicos disponibles del ganado vacuno y ovino. En cuanto al recurso de energía hidráulica, se determinó la generación de energía a partir del caudal del arroyo que atraviesa la comunidad. Con la información obtenida se realizó un procesamiento estadístico de datos y posteriormente se calculó el potencial de energía renovable del lugar.

### **1.6.3 Desarrollo de estrategias para mejorar las condiciones de los servicios básicos de energía en la comunidad**

Sobre la base de los resultados del diagnóstico energético local y de la información sobre el potencial energético renovable aprovechable del lugar, se desarrollaron estrategias para cubrir la demanda de energía insatisfecha a través de la aplicación de tecnologías limpias, eficientes y renovables.

### **1.6.4 Planteamiento de propuestas tecnológicas para el uso de las energías renovables**

Finalmente, basada en las estrategias desarrolladas, se elaboraron propuestas tecnológicas para el desarrollo energético sustentable de la comunidad, que constituyen alternativas técnicamente apropiadas y económicamente viables.

---

<sup>9</sup> El Centro de Energías Renovables (CER-UNI), es una entidad especializada de la Universidad Nacional de Ingeniería en investigación aplicada, desarrollo tecnológico y transferencia tecnológica de las energías renovables. Es reconocido como pionero y continuo promotor de proyectos de energías renovables en el Perú. [cer.uni.edu.pe/](http://cer.uni.edu.pe/)

## 1.7 ANTECEDENTES

### 1.7.1 Caso Mundial

A continuación, se describen experiencias en el desarrollo de proyectos energéticos desarrollados en poblaciones rurales de la región y en el mundo.

#### Experiencias desarrolladas

**Electrificación rural en Argentina. Alcances y limitaciones del Programa de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER) en la provincia de Jujuy, Argentina** (Schmukler, 2018): Este trabajo aporta y proporciona insumos para la generación de un modelo de energización rural.

**Energización una alternativa para el desarrollo productivo en comunidades vulnerables ubicadas en ZNI - Caso la Guajira, Colombia** (González T. & Murgas J., 2017): El proceso de identificación de las mejores soluciones de energización rural, se basa en criterios físicos, naturales, económicos y sociales.

**Proyecto: “Una escuela sustentable”, Uruguay** (Espósito & Gómez, 2016): En este trabajo (ver figura 3), se aplicaron 7 principios de sustentabilidad: utilización de materiales naturales y reciclados, producción de alimentos, generación de electricidad de fuentes renovables, captación y almacenamiento de agua de lluvia, saneamiento de aguas residuales, climatización solar pasiva (calefacción y refrigeración) y el factor humano.



**Figura 3.** Vista de la escuela rural sustentable construido en Uruguay (OMEP, 2016).

**Proyecto: Implementación de nuevas tecnologías solares para zonas rurales aisladas: apoyando su adopción en la región de LAC** (Fernández, 2015): Este tipo de tecnología (ver figura 4), se presenta como una alternativa eficiente y viable para su empleo en programas de electrificación de zonas rurales y aisladas.



**Figura 4.** Imagen del sistema pSHS tercera generación de 5-10 W<sub>p</sub> (Fernández, 2015).

**Proyectos de energización con fuentes de Energías Renovables en comunidades rurales chilenas como facilitadores del desarrollo local, Chile** (Hernández & Ubilla, 2013): El trabajo analiza cuatro experiencias de desarrollo local sustentable en comunidades rurales aisladas chilenas desde la introducción de proyectos de energización con fuentes de energías renovables.

**Energización de las zonas no interconectadas a partir de las Energías Renovables Solar y Eólica, Colombia** (Esteve G., 2011): Este trabajo se basa en recomendar que tipo de sistema es más propicio de acuerdo a la demanda energética: sistemas fotovoltaicos, sistemas híbridos solar-eólica y sistemas híbridos hídrico-diésel u otra alternativa para ser aprovechados en las zonas rurales.

**Energización sustentable en comunidades rurales aisladas del Delta del río Paraná con fines productivos, Argentina** (Righini et al., 2008): Como resultado de este proyecto se puede afirmar que el empleo de métodos alternativos de aprovechamiento energético de la radiación solar con fines productivos en zonas aisladas es factible, fiable y económica.

**Proyecto Multilateral OEA SEDI/AICD/AE 204/03 - Argentina, Chile, Paraguay, Perú y Uruguay “Energización sustentable en comunidades rurales aisladas con fines productivos”** (OEA, 2008): El diseño general del proyecto fue correcto en cuanto a sus objetivos y coherente en la formulación de actividades para cumplirlos, pero demasiado ambicioso en cuanto a su cobertura, tanto geográfica como temática.

**Energías renovables en Nicaragua: Proyecto de electrificación rural en zonas aisladas** (Ley et al., 2007): El proyecto fue replicado en otras zonas rurales y desarrolló mecanismos nuevos y sostenibles para la construcción de una variedad de sistemas descentralizados de energía basados en tecnologías de energía renovable.

**Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán, Colombia** (Pinto, 2004): En el trabajo se abordaron los problemas energéticos y se presentan soluciones tecnológicas. Existe una correspondencia biunívoca de las energías renovables y el desarrollo sostenible.

**Proyecto Multilateral OEA SEDI/AICD/AE 071/01 - Argentina, Paraguay y Uruguay “Energización de centros comunitarios rurales”** (Grossi et al., 2004): El haber contado con la participación de los pobladores para la definición de las necesidades, para la instalación de los sistemas y para su atención primaria permitió alentar perspectivas de sustentabilidad para las soluciones implementadas.

**Proyecto de electrificación de comunidades rurales por medio de fuentes alternas de energía, México** (Rocha del Real, 2003): Se emplearon fuentes alternas de generación de energía eléctrica, tales como energía solar y eólica. Su costo (inversión + operación) es menor a extender una Línea de Red Eléctrica.

**Programa de electrificación rural en Bangladesh-USAID**<sup>10</sup> (Ali et al., 2012): El programa es una forma probadamente efectiva de atender las necesidades energéticas de las comunidades más remotas. Vale mencionar que, el país con mayor éxito en energización aislada es Bangladesh.

**La experiencia fotovoltaica en México** (Sánchez et al., 2017): En México, la aplicación de sistemas fotovoltaicos ha sido la mejor alternativa para la electrificación de zonas alejadas. Los buenos resultados obtenidos se extendieron a otras aplicaciones como: la iluminación básica, refrigeración y comunicaciones.

---

<sup>10</sup> La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (en inglés: United States Agency for International Development), también conocida por sus siglas en inglés, USAID, es la institución estadounidense encargada de distribuir la mayor parte de la ayuda exterior de carácter no militar.

**Acciones de la SAGARPA<sup>11</sup> con Energía Renovable en el campo Mexicano** (Montufar, 2014): La acción que tuvo mayor impacto en el campo rural mexicano fue el bombeo de agua con sistemas fotovoltaicos aplicados en la agricultura y ganadería.

### **1.7.2 Caso Peruano**

A continuación, se describen experiencias en el desarrollo de proyectos energéticos desarrollados en poblaciones rurales remotas y aisladas del Perú.

#### **Experiencias desarrolladas:**

**Proyecto de mejoramiento de electrificación rural mediante fondos concursables FONER** (Practical Action, 2019): Entre los resultados más relevantes se encuentran: mayor inversión (93,0 %) en ampliación de redes eléctricas (101 429 hogares) y menor (7,0 %) en la implementación de SFD de 60- 80 W<sub>p</sub> (7 100 hogares).

**Transferencia tecnológica para enfrentar eventos climáticos extremos transformando una comunidad rural altoandina en un sistema productivo sustentable con energías renovables en la comunidad San Francisco de Raymina** (CER-UNI, 2016): Se sentaron las bases para la implementación de tres líneas productivas: Turismo, Gastronomía y Producción en Invernaderos. No se cumplieron con las metas trazadas por problemas económicos y por la falta de apoyo de la localidad en el tramo final del proyecto.

**Proyecto red rural de asesoría y venta de tecnologías renovables** (AEA, 2016): El proyecto fue demasiado ambicioso en cuanto a la cobertura, no se tuvo en cuenta la topografía accidentada y compleja de las zonas, no se cumplió con la meta trazada de crear empresas autosostenibles.

**El Programa de cocinas mejoradas Qori Q'oncha** (Gamio, 2014): Con el uso de cocinas limpias se puede conseguir hasta un 50% de ahorro en el consumo de leña (1,8 TM al año, dependiendo del contexto forestal), y una reducción de 1 a 3 TM de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>11</sup>SAGARPA, México. Es la secretaría de estado, dependiente del Poder Ejecutivo Federal, que se encarga primordialmente de administrar los recursos federales para el desarrollo rural de la nación.

**Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el poblado rural la Gramita de Casma, Perú** (Chercca R., 2014): El trabajo presenta una solución técnica y económicamente viable. La metodología de cálculos y criterios de optimización aportados han permitido demostrar los beneficios de los sistemas de generación híbridos en relación a las otras alternativas.

**Electrificación rural con Energías Renovables en la comunidad de Alto Perú** (Lillo et al., 2013): Este proyecto es un ejemplo demostrativo de viabilidad, eficacia y sostenibilidad.

**Programa EURO-SOLAR** (Euro-Solar, 2013): El programa contribuyó a la mejora de las condiciones de vida de los pobladores del medio rural e impulsó el desarrollo sostenible de las mismas. Como resultado (ver figura 5), el programa logró fomentar el desarrollo de nuevas actividades productivas en diferentes comunidades rurales y aisladas.



**Figura 5.** Vista de instalación de kit híbrido eólico-solar de 1,4 kW (ITER, 2011).

**Energía sostenible y universal** (OSINERGMIN, 2013): El proyecto muestra cómo los sistemas fotovoltaicos ayudan a llevar energía a zonas rurales, se demuestra que en nuestro país es viable y sostenible usar este tipo de sistemas.

**Proyecto “Sistema de aerobombeario directo de 3kW”** (Velásquez, 2013): Este sistema es una solución para la provisión de energía en aplicaciones productivas.

**Usos productivos de la electricidad. Experiencias y lecciones en el área rural peruana.** (Tarnawiecki et al., 2013): La promoción de usos productivos debe ir de la mano con el uso de instrumentos legales o de otro tipo para apoyar la creación y/o desarrollo de las empresas rurales.

**Implementación de las bases tecnológicas para un sistema multiproductivo y educativo en la comunidad San Francisco de Raymina de Ayacucho (CER-UNI, 2012):** En la localidad, se lograron implementar diversas tecnologías limpias y renovables sobre la base de sus recursos propios. La dificultad encontrada en este proyecto fue la transferencia tecnológica.

**Propuesta técnica de confort térmico para localidades ubicadas entre 3000 y 5000 m s.n.m (Espinoza, 2012):** La propuesta (ver figura 6), presentó soluciones y lineamientos técnicos para aplicarse a viviendas en el ámbito altoandino, con la finalidad de obtener temperaturas confortables en el interior de ellas.



**Figura 6.** Imagen de la vivienda bioclimática construida en la comunidad San Francisco de Raymina, Ayacucho-Perú (CER-UNI, 2012).

**Proyecto “Calefactor solar SENCICO”: Responsabilidad Social (SENCICO, 2009):** Fueron instalados un total de 17 714 sistemas a nivel nacional. El proyecto fracasó, no cumplió con los objetivos trazados, esto debido al desconocimiento del tema por parte de la institución y por no contar con personal técnico calificado para su ejecución.

**Estudio del Plan Maestro de Electrificación Rural con Energía Renovable en la República del Perú (MINEM, 2008):** Los objetivos trazados en este plan no se lograron cumplir. En la actualidad aún persisten muchas localidades aisladas y rurales que no cuentan con energía eléctrica.



**Implementación y caracterización de un centro de demostración de energías renovables en Yaurisque provincia de Paruro Cusco – Perú** (Peña C., 2010): Las tecnologías trabajan eficientemente, y demuestra que son sustentables. Pueden ser replicables en otros sectores para mejorar las condiciones de vida de los pobladores.

**Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país.** (Muñoz A., 2005): Se estudiaron la demanda energética y se logró diseñar sistemas fotovoltaicos para diferentes empleos: uso domiciliario, sistema de radiofonía HF y módulos productivos.

**El proyecto CER-UNI en Taquile** (CER-UNI, 2001): Se instalaron 427 sistemas fotovoltaicos (SFD). El CER-UNI llevó a cabo el proyecto bajo su propio esquema de gestión “Venta a plazos”, y con un control estricto de la calidad de los equipos. A la fecha estos sistemas (ver figura 7), han sido replicados en diversas localidades de la zona mejorando la condición de vida de los pobladores.



**Figura 7.** Imagen de sistemas fotovoltaicos instalados en la Isla Taquile, Puno (CER-UNI, 2001).

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.1.1 Energía**

En Física se define la energía como la capacidad para realizar un trabajo. La energía puede manifestarse de distintas formas, existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía (Martínez & Caro, 2010).

Unidades: en el Sistema Internacional (SI), la energía se mide en Julios (J); también es usual medir la energía en vatios hora (Wh), o kilovatios hora (kWh);  $1 \text{ kWh} = 3,60 \times 10^6 \text{ J}$ .

#### **2.1.2 Potencia**

La potencia promedio ( $P$ ) es igual a la energía ( $E$ ) transferida en un intervalo de tiempo determinado ( $t$ ):  $P=E/t$ . Unidades: en el Sistema Internacional, la potencia se mide en vatios (W);  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ .

#### **2.1.3 Energía eléctrica**

Se genera a consecuencia de una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor; esta diferencia de potencial hace que se genere un flujo de electrones (electrones en movimiento) entre los dos puntos, creando una corriente eléctrica. La diferencia de potencial se denomina voltaje y se mide en Voltios (V); y la corriente se mide en Amperios (A). La corriente puede ser corriente directa (DC) o corriente alterna (AC).

#### **2.1.4 Usos de la Energía**

La energía se utiliza en actividades de diferente índole en sectores: residencial, transporte, industrial y comercial. La manera de usarla varía de acuerdo a las características de las actividades y de los sectores, distinguiendo varias formas de energía desde su etapa primaria hasta su uso final. Las aplicaciones del uso energético comprenden iluminación, cocción, secado, fuerza motriz y demanda de electricidad en general.

En el Perú las principales fuentes de energía primarias son la hidroenergía, el petróleo crudo, el gas natural, el carbón mineral, la leña y los residuos vegetales y animales. Las principales fuentes de energías secundarias son el diésel, la electricidad, el GLP, las gasolinas.

### 2.1.5 Demanda de energía en zonas rurales

Necesidad de fuentes que puedan satisfacer las necesidades de energía. Depende de factores como población, nivel de desarrollo económico, disponibilidad de tecnología, etc. Igual a éstas, no siempre se puede satisfacer la demanda por energía (BUN-CA, 2002a). La tabla 3 muestra los estándares mínimos para el acceso a los servicios de energía en el hogar.

**Tabla 3.** Estándares mínimos de Acceso Total a la Energía (Soluciones Prácticas, 2012).

Servicio energéticos	Estándar mínimo
Iluminación	1.1 300 lúmenes por un mínimo de 4 horas por noche a nivel del hogar.
	2.1 1 kg de leña o 0,3 kg de carbón vegetal o 0,04 kg de GLP o 0,2 litros de querosene o biocombustible por persona al día, que toma menos de 30 minutos para conseguir por hogar al día.
Cocina y Calentamiento de agua	2.2 Eficiencia mínima de cocinas mejoradas que funcionan con combustibles sólidos es 40 % más que las de una cocina de tres piedras en términos de uso de combustibles.
	2.3 Concentraciones medias anuales de partículas (PM 2,5) < 10 µg/m <sup>3</sup> en los hogares, con objetivos intermedios de 15 µg/m <sup>3</sup> , 25 µg/m <sup>3</sup> y 35 µg/m <sup>3</sup> .
Calefacción	3.1 Temperatura mínima del aire de 18 °C en interiores durante el día.
	4.1 Hogares que pueden prolongar la vida de los productos perecibles por un mínimo de 50 % con respecto a los permitidos por el almacenamiento a temperatura ambiente.
Enfriamiento	4.2 Temperatura máxima aparente.
	5.1 Personas que pueden comunicar información electrónica desde su hogar.
Información y comunicaciones	5.2 Personas que pueden tener acceso a los medios electrónicos de interés para sus vidas y sus condiciones de vida en su hogar.

La demanda, está caracterizada por que su dimensión en términos de familia y población involucrada no es precisa, la dispersión geográfica, ubicaciones remotas y las características del habitante rural -escasos recursos y bajo poder adquisitivo- (Escobar et al., 2016).

### 2.1.6 Eficiencia energética

La eficiencia energética es el hecho de minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar a su calidad; supone la sustitución de un equipo por otro que, con las mismas prestaciones, consuma menos electricidad (Schallenberg et al., 2008).

La eficiencia energética, se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Egreso de energía utilizable}}{\text{Insumo de energía}} \times 100\% \quad (1)$$

### **2.1.7 Energización rural**

Según el GLAERS<sup>12</sup>, el concepto de energización rural debe ser considerado como estrechamente asociado al concepto de *uso racional o eficiente de energía*. Esto quiere decir que la energización rural no necesariamente implica incrementos en el uso de los portadores energéticos, sino que puede significar ahorros de energía (e.g., leña) o sustitución entre fuentes<sup>13</sup>(FAO, 1993).

En el año 2011, la ONU dio inicio a la iniciativa Energía Sostenible para Todos (SE4All por sus siglas en inglés), buscó reconocer expresamente el papel fundamental de la energía sostenible “*llamada energización*” en el proceso de desarrollo y posicionarla como uno de los elementos determinantes en la lucha contra la pobreza (Escobar et al., 2016).

### **2.1.8 Desarrollo rural**

El desarrollo rural es un proceso localizado de cambio social y crecimiento económico sostenible que tiene por finalidad el progreso permanente de la comunidad rural y de cada individuo que pertenece a ella (Valcárcel-Resalts, 1995).

### **2.1.9 Desarrollo Sustentable**

Es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades (Ramírez et al., 2004).

### **2.1.10 Transferencia Tecnológica**

La Transferencia de tecnología es el proceso por el cual se lleva a cabo la transmisión del saber hacer (know-how), de conocimientos científicos y/o tecnológicos y de tecnología de una organización a otra (Grosse, 1996).

En el Perú, según estudios realizados a trece instituciones del país, se determinó que solo tres de ellas: la UPCH, la UNMSM y el INICTEL-UNI, tienen una unidad dedicada oficialmente al tema de Transferencia de Tecnología (Ísmodes, 2015).

---

<sup>12</sup> El Grupo de Trabajo Latinoamericano y del Caribe sobre Energización para un Desarrollo Rural Sostenible (GLAERS) elaboró una metodología que toma en cuenta los diferentes aspectos de la energización y su aplicación al proceso de planificación energética y desarrollo rural.

<sup>13</sup> Concepto dada por el GLAERS.

### **2.1.11 Clasificación de las fuentes de energía**

Las fuentes de energía se pueden clasificar de diversas formas:

- Según su origen: No renovables y Renovables.
- Según su nivel de contaminación: Energías Contaminantes y Energías Limpias.
- Según su uso: Convencionales y Alternativas.

### **2.1.12 Energías No Renovables**

Son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada. No se renuevan a corto plazo. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energéticas: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio. Las no renovables como el carbón, aprovechan recursos naturales cuyas reservas disminuyen con la explotación, lo que las convierte en fuentes de energía con poco futuro, ya que sus reservas se están viendo reducidas drásticamente. (Martínez & Caro, 2010).

### **2.1.13 Energías Renovables**

Las energías renovables son: todas aquellas energías derivadas de un proceso natural, las cuales son renovadas en una escala de tiempo humana. Entre estas fuentes de energía están: la hidráulica, la solar, la eólica, la geotérmica, la oceánica y la de biomasa, las cuales existen debido a la energía de la radiación solar, la atracción gravitacional de la luna, el sol y el calor interno de la Tierra (SENER, 2014).

### **2.1.14 Recursos Energéticos Renovables (RER)**

Son las fuentes naturales inagotables de energía, podemos mencionar que entre las principales RERs encontramos a las siguientes: energía hidráulica, energía solar, energía eólica, energía geotérmica, energía mareomotriz y biomasa (Vignolo, 2012).

En el Perú, existen varios recursos energéticos renovables disponibles, en particular la energía solar y eólica, así como los pequeños recursos hidráulicos y la biomasa utilizada con fines energéticos.

#### ***Energía Solar***

La energía solar es una fuente de energía renovable obtenida mediante el aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol. En la tabla 4 se presentan sus características. Se puede aplicar a diferentes tecnologías que convierten y aprovechan la

energía solar, por ejemplo generación de energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos, generación de energía térmica a través de colectores solares térmicos.

**Tabla 4.** Características principales del espectro solar (Duffie & Beckman, 2013).

Características	Sectores del espectro		
	Ultravioleta	Luz visible	Infrarrojo
Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	0 – 0,38	0,38 – 0,78	0,78 - $\infty$
Fracción relativa	0,064	0,48	0,456
Energía en el sector ( W/m <sup>2</sup> )	87	656	623

La radiación solar, en promedio anual, recibida fuera de la atmósfera es de 1 367 W/m<sup>2</sup> y se le llama constante solar. The World Radiation Center (WRC) adoptó este valor con una incertidumbre del orden del 1% (Duffie & Beckman, 2013).

Los fenómenos ópticos que presentan la luz solar, transmisión y reflexión, se explican muy claramente al considerar el carácter ondulatorio de esta. Albert Einstein demostró que la luz se comporta como un conjunto de “paquetes o cuantos”, llamados actualmente *fonones* cuya energía está definida por la ecuación siguiente:

$$E = hc / \lambda \quad (2)$$

Donde:

- h: Constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  J.s)
- c: Velocidad de la luz ( $2,998 \times 10^8$  m/s)
- $\lambda$ : Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ ).
- E: Energía del fotón (eV).

### ***Energía Eólica***

La energía eólica se obtiene de la energía cinética del viento generado gracias al movimiento de las corrientes de aire ocasionadas por el calentamiento no uniforme de la Tierra. El aire tiene una masa, que aunque pequeña, es cuantificable y que por lo tanto, cuando está en movimiento posee la energía de todo cuerpo moviéndose y que se conoce como energía cinética (SENER, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior se identifican los siguientes factores que influyen en la potencia del viento:

- Área por donde pasa el viento.
- Densidad del aire y velocidad del viento.

La cantidad de energía que posee el viento varía con la tercera potencia de la velocidad media del viento, se puede calcular como:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho v^3 \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad (3)$$

Dónde:

$\rho$ : Densidad del aire.

v: Velocidad del viento.

### ***Energía Hidráulica***

La energía hidráulica se obtiene de la energía cinética y potencial del agua. La energía potencial que tiene el agua (por diferencia de altura) se transforma en energía mecánica (rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina. Al conectar la turbina a un generador eléctrico se transformará la energía mecánica en energía eléctrica.

La potencia de una instalación hidroeléctrica está en función de las siguientes variables o condiciones:

- El caudal del río o la cuenca (cantidad de agua pasando en un periodo fijo), generalmente medido en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ );
- La caída, o la diferencia en altura entre la toma de agua y la turbina;
- Las pérdidas por fricción entre la toma de agua y la turbina;
- La eficiencia de la turbina y el generador.

Definido el caudal por utilizar en la unidad generadora y con la caída neta disponible, se puede calcular la potencia hidráulica estimada en kilovatios, de la siguiente forma:

$$P_H = \gamma * H * Q \text{ (kW)} \quad (4)$$

Donde:

$P_H$ : potencia hidráulica.

$\gamma$ : Peso específico del agua a 4 °C (9,8 kN/m<sup>3</sup>).

H: Caída o salto vertical entre la toma de agua y la turbina (en metros).

Q: Flujo o caudal de agua (metros cúbicos por segundo).

### ***Energía Geotérmica***

La energía geotérmica se obtiene mediante el aprovechamiento del calor interno de la Tierra. Este calor se encuentra concentrado en sistemas o yacimientos geotérmicos. Estos suelen manifestarse en la superficie en formas de manantiales termales, suelos calientes, volcanes de lodo, fumarolas, géiseres y zonas de alteración hidrotermal (SENER, 2014).

La temperatura de la Tierra suele aumentar unos 3 °C cada 100 metros; aunque en algunas zonas de la corteza existen anomalías geotérmicas que hacen que la temperatura aumente entre 100 °C y 200 °C por kilómetro, estas zonas son las que mejor se pueden aprovechar desde el punto de vista geotérmico (Schallenberg et al., 2008). Las profundidades a las que se suelen situar estas explotaciones geotérmicas están entre 300 y 2 000 metros.

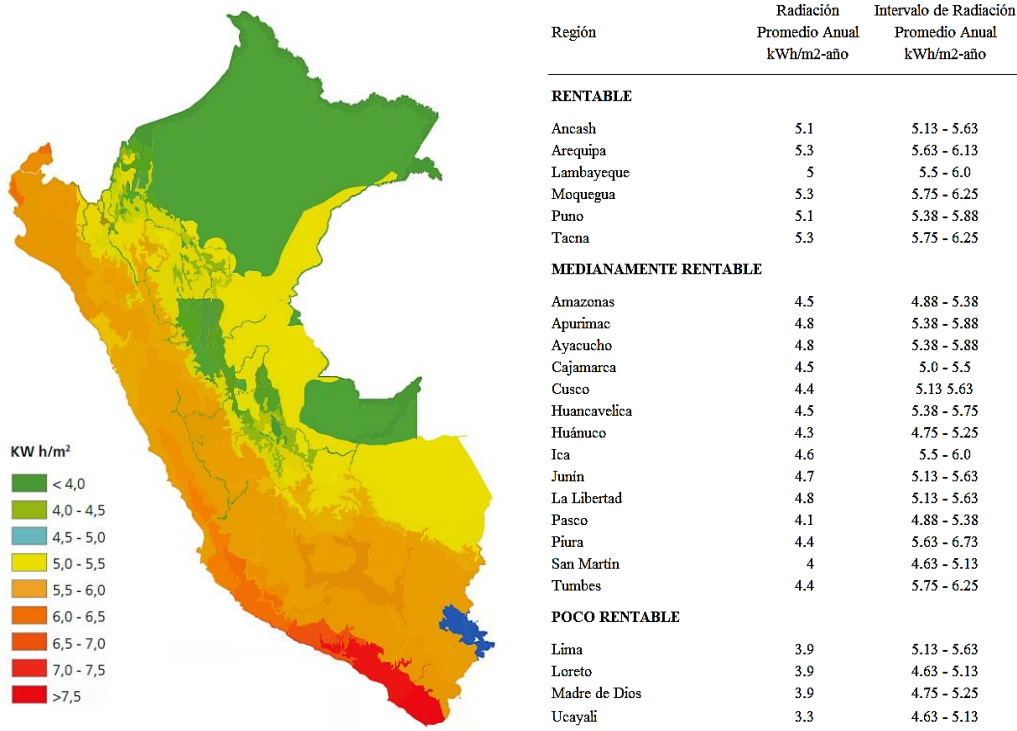
### **Biomasa**

La energía del Sol es utilizada por las plantas para sintetizar la materia orgánica por medio de la fotosíntesis. Esta materia orgánica puede ser incorporada y transformada por los animales y por el hombre. Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego (BUN-CA, 2002b).

### **2.1.15 Potencial de Energías Renovables en el Perú**

El Perú es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo y grandes recursos minerales, a la que se suma también la diversidad de recursos energéticos renovables que posee su territorio (DGER/MINEM, 2012).

### **Energía Solar**



**Figura 8.** Atlas Solar del Perú (DGER/MINEM, 2012).



## Energía Eólica

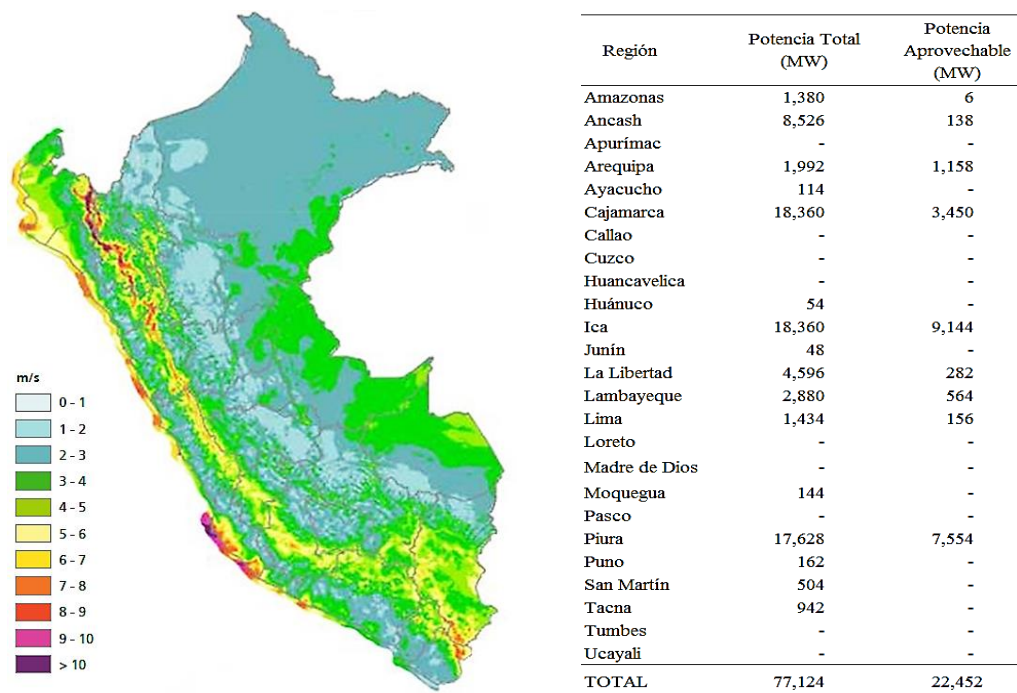


Figura 9. Potencial Eólico del Perú (Ebentreich, 2016).

## Energía Hidráulica

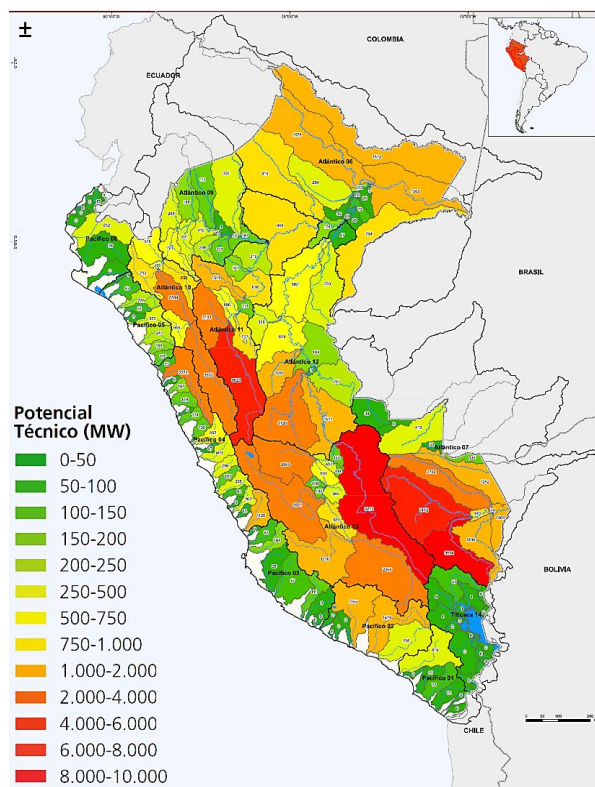


Figura 10. Potencial Hidroeléctrico Técnico del Perú a nivel de cuencas (DGER/MINEM, 2012).

En la tabla 5 se puede apreciar el potencial hidroeléctrico con que cuenta el Perú.

**Tabla 5.** Potencial Hidroeléctrico del Perú (DGER/MINEM, 2012).

Vertiente	Teórico Aprovechable (MW)	Técnico Aprovechable (MW)
Pacífico	29 502	8731
Atlántico	139 321	60 627
Titicaca	1186	87
<b>TOTAL</b>	<b>170 009</b>	<b>69 445</b>

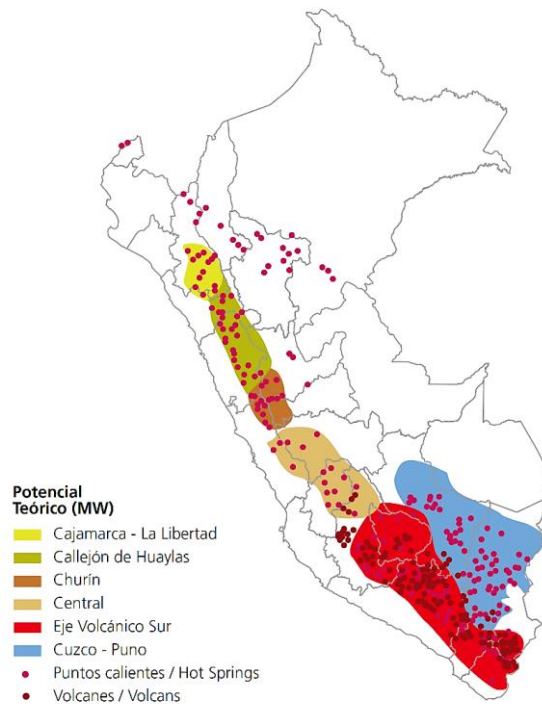
En Perú, solo se considera renovables RER a las mini centrales; es decir menores a 20 kW por tener prácticamente un nulo impacto medioambiental.

### *Energía Geotérmica*

En el Perú, las regiones con mayores manifestaciones geotermales son:

- Región I Cajamarca, La Libertad.
- Región II Callejón de Huaylas.
- Región III Churín.
- Región IV Zona Central.
- Región V Eje Volcánico del Sur.
- Región VI Cusco Puno.

En el mapa de Perú (ver figura 11), se ubican las zonas con mayor potencial geotérmico.



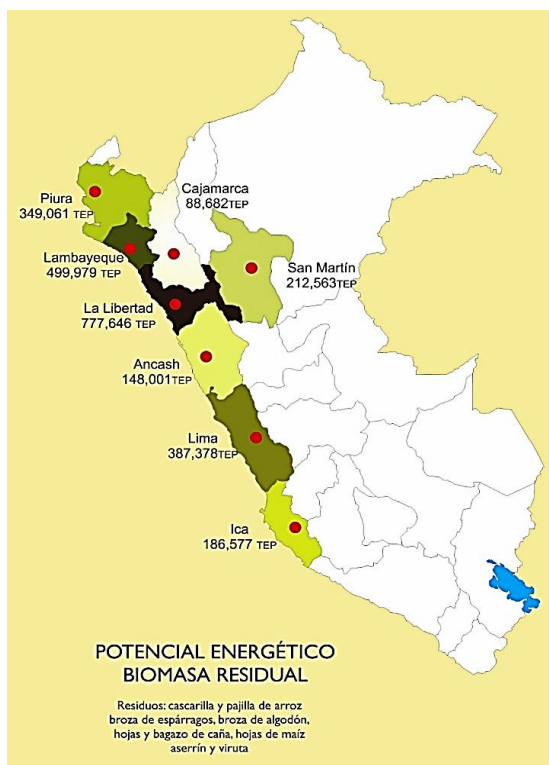
**Figura 11.** Zonas con manifestaciones geotermales en el Perú (DGER/MINEM, 2012).

## Biomasa

En un estudio desarrollado en el 2014, para calcular el Potencial Energético de la Biomasa Residual en el Perú, se pudo elaborar la oferta de biomasa residual a nivel nacional por departamentos y provincias. Los resultados se pueden apreciar en la tabla 6 y figura 12, respectivamente.

**Tabla 6.** Potencial energético por residuo (Assureira E. D.L.G. & Assureira M., 2014).

Producto	Residuo en TM	% Volumen	Energía TEP	% Energía
Maíz Amarillo	2 779 277	27,12	1 055 114	35,25
Caña de Azúcar (RAC)	1 884 271	18,39	616 509	20,59
Broza de Algodón	446 698	4,36	170 342	5,69
Broza de Espárragos	242 638	2,37	66 773	2,23
Arroz (Pajilla)	1335,289	13,03	406 473	13,58
Arroz(Cascarilla)	395 323	3,86	133 500	4,46
Viruta	60 242	0,59	24 453	0,82
Bagazo	3 103 932	30,29	520 342	17,38
<b>TOTAL</b>	<b>10 247 670</b>	<b>100 %</b>	<b>2 993 506</b>	<b>100 %</b>



**Figura 12.** Potencial energético disponible correspondiente a residuos biomásico (Assureira E. D.L.G. & Assureira M., 2014).

De la investigación desarrollada se puede deducir que en el Perú la agricultura, agroindustria y la industria de la madera generan anualmente más de 10 247 TM de residuos susceptibles de ser aprovechados energéticamente.

A continuación, en la tabla 7 se muestra el potencial por recurso renovable con que cuenta el Perú y la capacidad instalada.

**Tabla 7.** Potencial de Energías Renovables en el Perú (IRENA, 2014; MINEM, 2014; Vásquez et al., 2017).

<b>Fuente</b>	<b>Potencial</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Capacidad Instalada<sup>14</sup></b>
Hidroeléctrica	69445 MW	Electricidad	566,1 MW
Solar	Irradiación media diaria : 250 W/m <sup>2</sup>	Electricidad, calor	280,5 MW
Eólica	22450 MW	Electricidad	394,0 MW
Geotérmica	3000 MW	Electricidad, calor	–
Biomasa (Bioenergía)	177 MW (biomasa)	Electricidad	23,0 MW
	51 MW (biogás)		10,4 MW

### 2.1.16 Tecnologías Renovables

Las tecnologías de energía renovables son aquellas que transforman los flujos de energía que se presentan en la naturaleza.(UPME, CorpoEma, 2010); es decir, transforman la energía obtenida de los recursos energéticos renovables en otro tipo de energía útil, como por ejemplo, energía eléctrica (Esteve G., 2011).

#### *Energía Solar*

##### **Colector Solar Fototérmico**

Se utiliza principalmente para calentar fluidos, normalmente agua. Dependiendo de la temperatura final alcanzada por el fluido a la salida, las instalaciones se dividen en colectores de alta temperatura y baja temperatura (Schallenberg et al., 2008).

Colectores de baja temperatura: colectores solares planos.

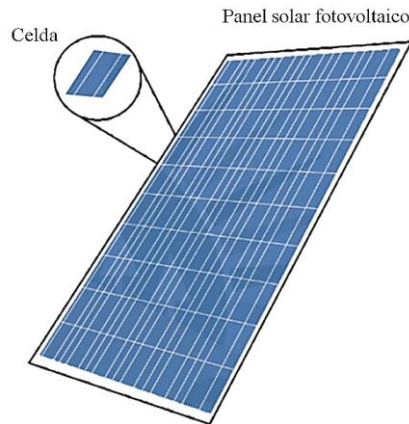
- a) Colector placa plana con cubierta
- b) Colector placa plana sin cubierta
- c) Colector tubos al vacío
- d) Colector acumulador

##### **Panel Solar Fotovoltaico**

La transformación directa de la energía solar en energía eléctrica tiene como base al fenómeno fotoeléctrico, el cual se da a través de ciertos dispositivos fabricados con

<sup>14</sup> Elaboración sobre la base de datos proporcionados por IRENA, MINEM y OSINERGMIN. Se muestra el potencial energético renovable con que cuenta nuestro país y la capacidad instalada considerando las centrales energéticas puestas en operación en el 2018.

semiconductores capaces de convertir la “luz” del sol en electricidad. Este dispositivo es llamado celda fotovoltaica (ver figura 13), produce electricidad ( $\approx 0,5$  V) en corriente continua y sus parámetros característicos (intensidad y tensión) varían con la radiación solar que incide sobre las células y con la temperatura ambiente (Schallenberg et al., 2008).

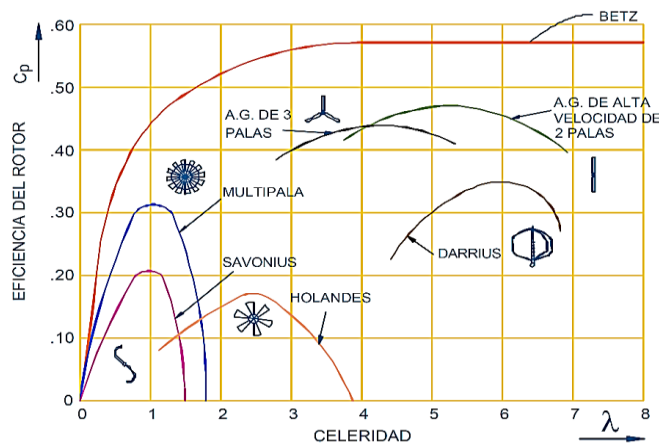


**Figura 13.** Modelo conceptual de un panel solar fotovoltaico convencional (SENER, 2014).

## Energía Eólica

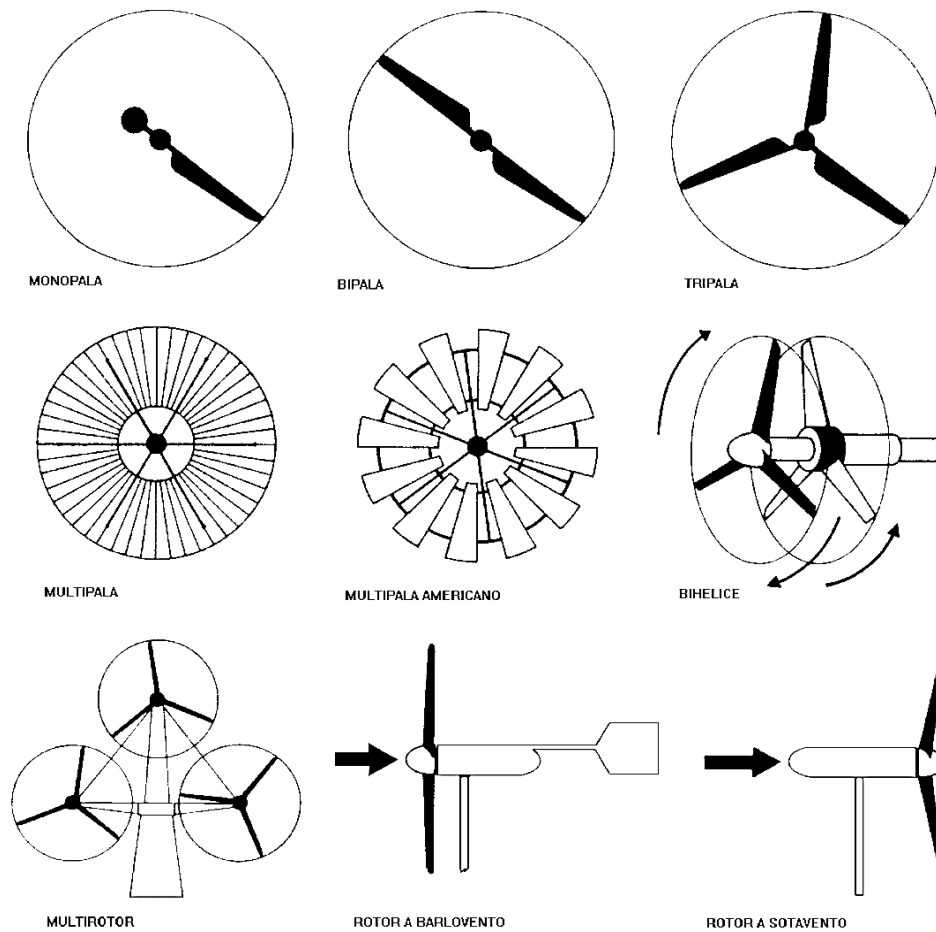
### Rotor Eólico

El rotor eólico es el elemento que permite captar parte de la energía del viento y convertirla en energía mecánica, la cual podrá ser a su vez convertida en energía eléctrica de ser necesario. Existe gran variedad de rotores y su clasificación más usual se realiza en función de la disposición del eje: horizontal o vertical, de los cuales el primero es el más común (BUN-CA, 2002b). Es importante destacar que la geometría del rotor eólico es clave para el comportamiento óptimo de las máquinas eólicas (ver figura 14), en el cual intervienen los conceptos del momentum de la energía y la teoría de alabes.



**Figura 14.** Coeficientes de potencia típicos para rotores de diversa geometría (EDEVI, 2004)

A continuación, en la figura 15 se muestra diversos tipos de rotores de eje horizontal.



**Figura 15.** Configuración típica de sistemas de conversión de energía eólica de eje horizontal (Pinilla, 1997).

## ***Energía Hidráulica***

### **Rotor Hidráulico**

La turbina hidráulica es el componente principal de una central hidroeléctrica, donde se transforma la energía contenida en el agua, en energía mecánica. El tipo más apropiado para un proyecto depende de las condiciones topográficas e hidrológicas del sitio, siendo el caudal y caída las más importantes. Se distinguen turbinas de reacción y acción (BUN-CA, 2002b).

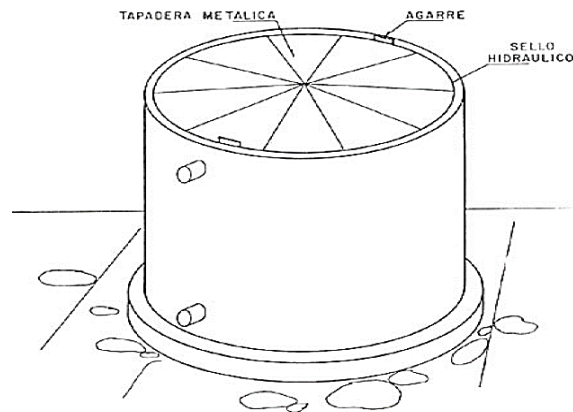
## ***Biomasa***

La biodegradación de la materia orgánica es un proceso natural que ocurre a la muerte de los vegetales y animales. Cuando esta descomposición se produce bajo una capa de agua desprovista de oxígeno disuelto se producen burbujas de gas. Así, el gas de los pantanos es efectivamente “biogás” o “biometano” producido por la fermentación anaerobia de los desechos vegetales (Oliveros, 2014).

## Energía del Biogás

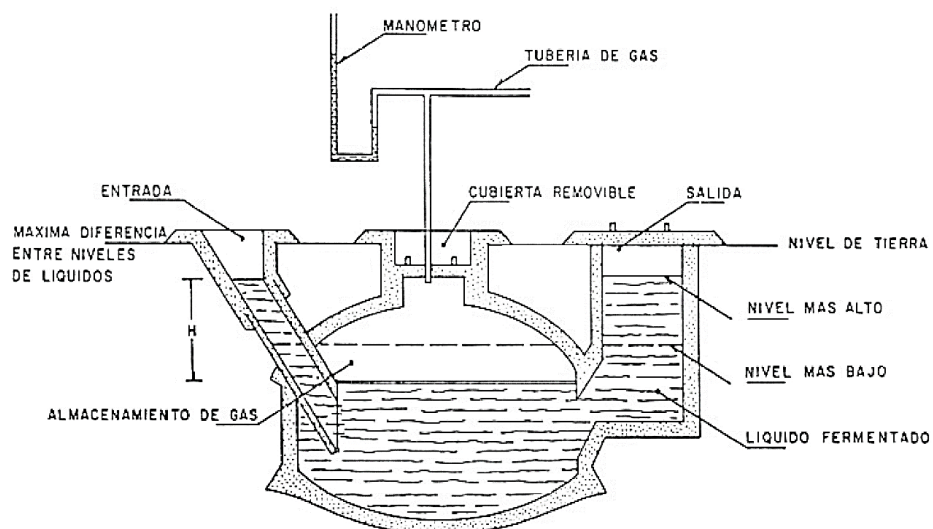
La fermentación anaerobia puede efectuarse artificialmente en depósitos cerrados llamados “digestores”. Los principales productos de este proceso son el biogás (gas combustible) y el bio-abono (excelente fertilizante). El metano, componente energético útil puede alcanzar 70 % en el biogás. El biogás tiene un poder calorífico de  $5000 \text{ kcal/m}^3$  aproximadamente (Oliveros, 2014).

De acuerdo a la frecuencia de cargado, los sistemas de biodigestión se pueden clasificar en: Batch o discontinuo, Semi-continuos y Continuos. A continuación, en la figura 16 se ilustra el digestor tipo Batch.



**Figura 16.** Vista digestor tipo Batch (Soluciones Prácticas, 2009).

Dentro de los sistemas semi-continuos y continuos, se tienen los biodigestores de tipo tanque agitado (ver figura 17), cuya versión en el ámbito rural está expresada principalmente por el modelo chino.



**Figura 17.** Biodigestor modelo chino (Soluciones Prácticas, 2009).

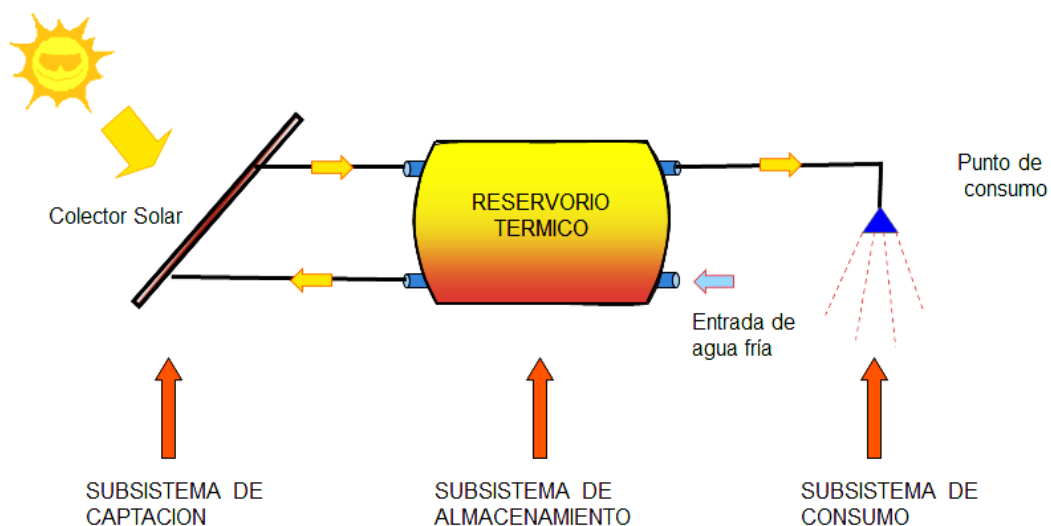
### 2.1.17 Sistemas Energéticos

Constituye uno de los componentes básicos tanto para la articulación física del territorio como para el desenvolvimiento de la actividad económica. Los sistema energético, son un elemento clave para medir la sostenibilidad del sistema productivo y de un territorio. Se basan fundamentalmente en el consumo de fuentes energéticas (CIEMAT, 2012).

#### *Energía Solar*

#### **Sistema de calentamiento de agua con Energía Solar (SCAES)**

Consta básicamente de tres subsistemas: captación (colector solar), almacenamiento (reservorio térmico) y consumo (ver figura 18). El sistema puede trabajar por circulación natural o forzada. Generalmente, las aplicaciones de estos sistemas en los hogares son para: calentamiento de agua para usos sanitario (duchas y lavamanos), para el lavado de utensilios de cocina y ropa.



**Figura 18.** Diseño arquitectónico de un SCAES (Adaptado del ADEME, 2000).

Para determinar la eficiencia instantánea del sistema en períodos de una hora, se considera la siguiente ecuación (Duffie & Beckman, 2013):

$$\eta_i = Q_u / A_c G_t \quad (5)$$

Donde:

$Q_u$  (W) : calor útil del sistema.

$G_t$  (W/m<sup>2</sup>) : irradiancia global sobre el colector.

$A_c$  (m<sup>2</sup>) : área de apertura del colector.



Para calcular el calor útil del sistema  $Q_u$ , se considera la siguiente ecuación (Duffie & Beckman, 2013):

$$Q_u = \dot{m} \times C_p \times (T_s - T_i) \quad (6)$$

Donde:

- $\dot{m}$  (kg/s) : flujo másico del fluido que se calienta.  
 $C_p$  (J/kg\*K): calor específico del fluido que se calienta.  
 $T_s$  y  $T_i$  (°C): temperaturas de entrada y salida del fluido calentado.

El flujo másico se puede calcular como:

$$\dot{m} = \rho \times Q \quad (7)$$

- $Q$  (m<sup>3</sup>/s) : caudal del agua.  
 $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) : densidad del agua.

Para calcular el área de colección, se considera la siguiente ecuación (Duffie & Beckman, 2013):

$$A_c = L_t \times W_r \quad (8)$$

Donde:

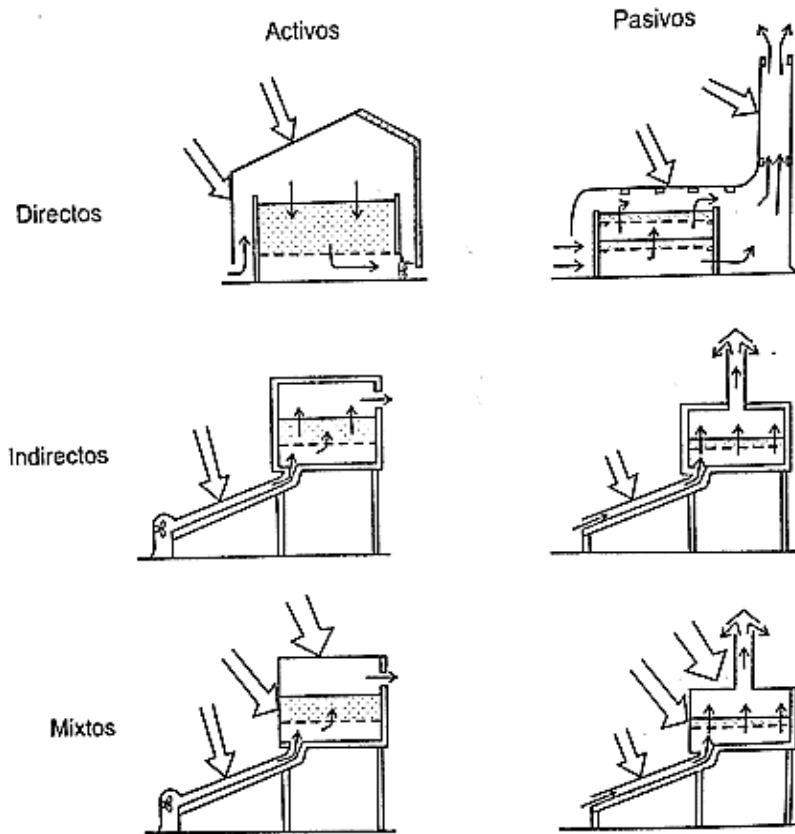
- $L_t$  (m) : longitud de los tubos.  
 $W_r$  (m) : ancho del reflector.

La irradiancia  $I_T$  sobre la superficie inclinada en una hora, se obtiene a través de un piranómetro.

### **Sistemas de Secado Solar**

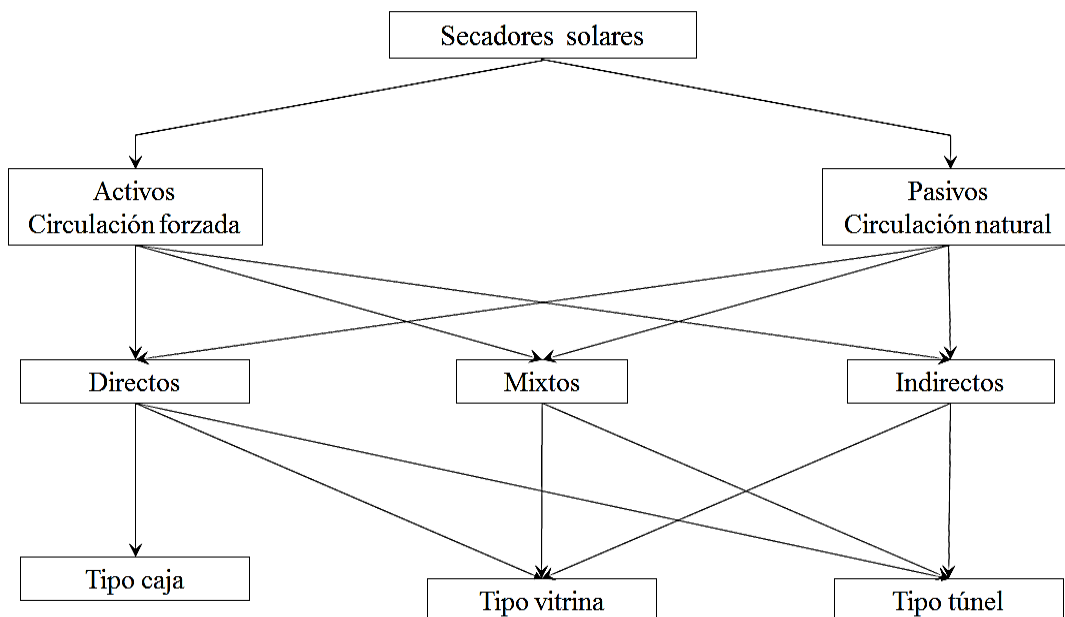
Son dispositivos que usan energía solar para secar sustancias, especialmente alimentos. Existen distintos tipos de diseños, como secadores solares indirectos (utilizan el calor del sol para secar), secadores solares directos (utilizan la radiación solar directa) y mixtos (BUN-CA, 2002b).

La figura 19 ilustra diferentes tipos de sistemas de secado solar. El proceso de secado puede ser aplicado a todo tipo de alimentos.



**Figura 19.** Ejemplos gráficos de los diferentes secadores solares (Ibáñez et al., 2004).

En la figura 20 se muestra la clasificación de los secadores solares; así también, se puede apreciar los métodos de secado empleados.



**Figura 20.** Clasificación de los secadores solares y métodos de secado (Ibáñez et al., 2004).

A continuación, en la tabla 8 se comparan diferentes tipos de secadores solares y se describen las ventajas y desventajas que presenta cada uno.

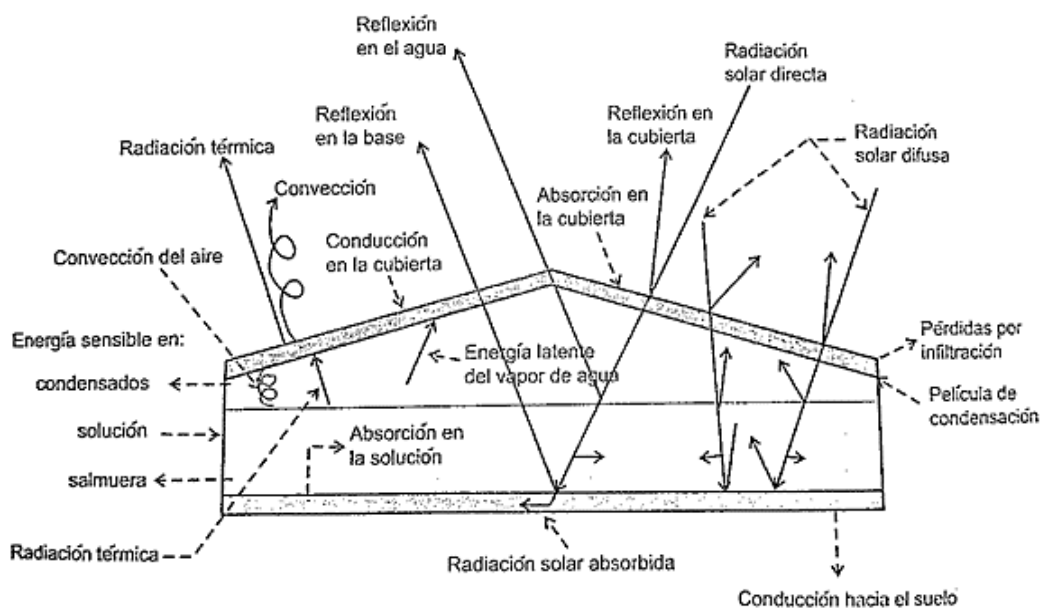
**Tabla 8.** Comparación de 4 tipos de secadores solares (Ibáñez et al., 2004).

Secadores solares	Ventajas	Desventajas
Directo	Más económico. Más sencillo.	Daños por radiación UV.
Indirecto	Protección de productos a radiación UV. Menor riesgo de temperaturas extremas.	Más complejos y caros.
Mixto	Menor riesgo de temperaturas extremas.	Daños por radiación UV. Más complejos y caros.
Híbrido	Operación con cualquier meteorología. Mejor control del secado. Hasta 40 veces más rápido que el secadero solar directo.	Dependencia de los combustibles fósiles poco económicos.

### Sistemas de Destilación Solar

La producción de sal a través de la evaporación de agua es tradicionalmente conocida, y resulta común el uso directo de la energía solar que se encuentra disponible en cualquier lugar donde existe agua salada y el clima sea apropiado.

Los sistemas de destilación solar de batea (ver figura 21) pueden producir hasta 5 litros/día·m<sup>2</sup> cuando hay más insolación, pero su rendimiento disminuye en días nublados (González et al., 2000).



**Figura 21.** Destilador solar de batea (Ibáñez et al., 2004).

### Sistemas de Calefacción Solar

Es un tipo de sistema energético que captura la radiación solar y la convierte en calor. La fuente de energía renovable que utiliza la calefacción solar térmica, es la que su propio nombre indica, la termodinámica o energía térmica (Jamar et al., 2016). Estos sistemas pueden ser pasivos o activos.

### Sistemas de Cocción Solar

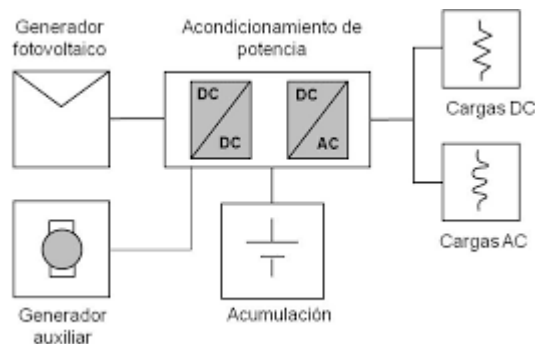
Son dispositivos capaces de transformar la radiación del sol en poder calorífico suficiente para lograr la cocción de los alimentos. Se clasifican en sistemas de cocción solar directos e indirectos. En la figura 22 se muestran dos ejemplos de sistemas de cocción solar directos: las cocinas solares tipo caja y de concentración parabólica.



**Figura 22.** (Izq.) Vista de cocina de acumulación tipo caja. (Der.) Cocina parabólica de concentración (BUN-CA, 2002b).

### Sistemas de Electricidad Solar

La energía solar fotovoltaica es uno de los recursos energéticos más apropiados para llevar la electricidad al medio rural, a causa de las propiedades de modularidad, autonomía, bajo mantenimiento y no contaminante. Los sistemas de generación de electricidad mediante paneles solares pueden ser autónomos (ver figura 23) o conectado a red.

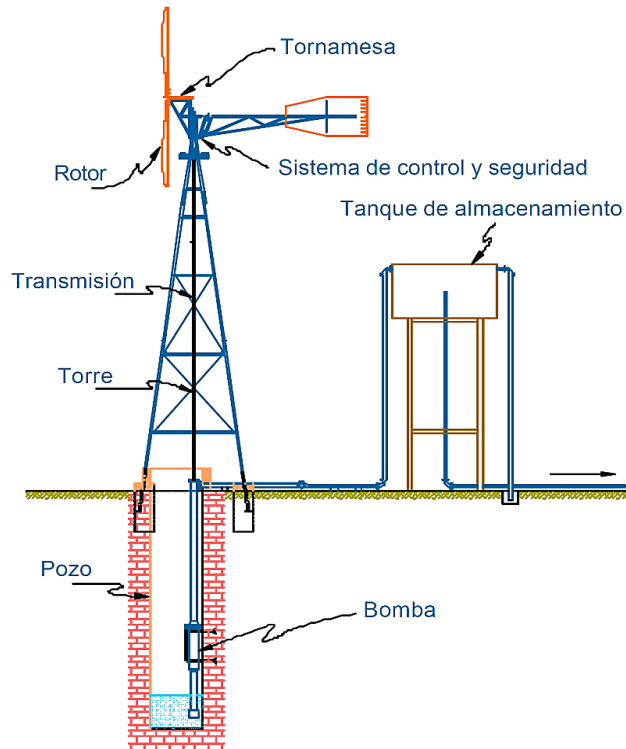


**Figura 23.** Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico autónomo (IES, 2008).

## ***Energía Eólica***

### **Sistemas de Bombeo Eólico**

Es un mecanismo que funciona accionado por la fuerza del viento (ver figura 24). Por lo general, son utilizados a pequeña escala, para abastecer de agua potable a comunidades rurales, o en pequeños sistemas de riego.



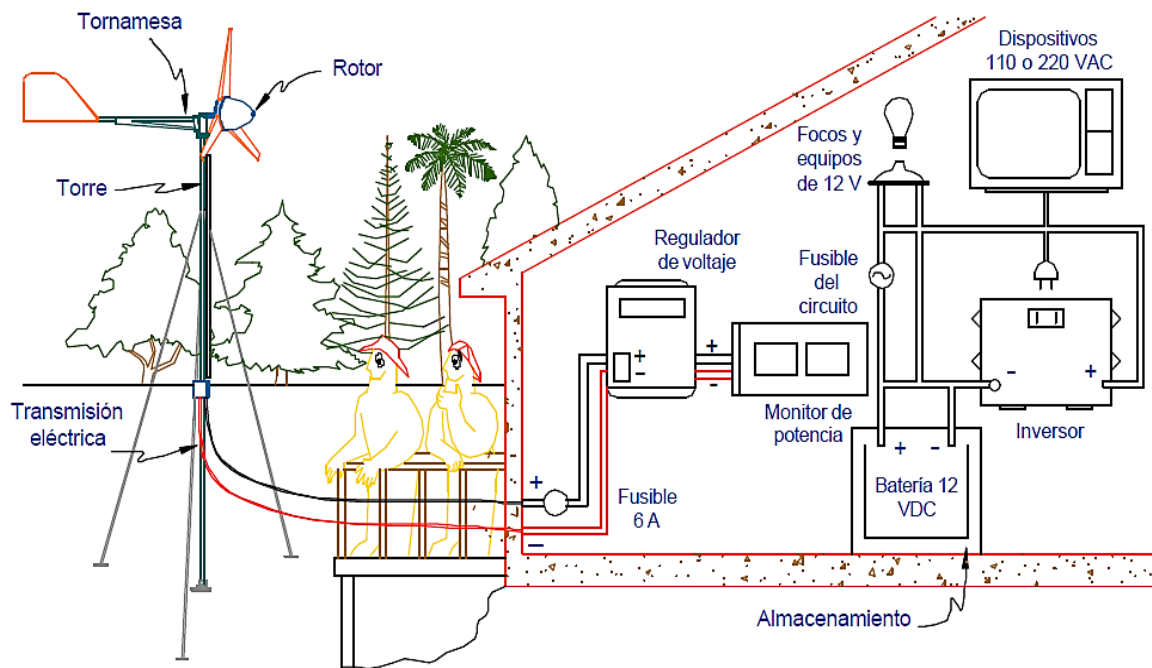
**Figura 24.** Esquema de una instalación típica de una aerobomba (EDEVI, 2004).

En el caso de los cultivos, sus requerimientos de agua dependen de una serie de parámetros, como calidad de suelo, clima, geografía del terreno, etc., y se han desarrollado una serie de expresiones teóricas para pronosticar su valor, así como su variación mensual en todos los valles de nuestra costa y los resultados son publicados por la Dirección de Aguas Superficiales y Subterráneas del MINAGRI<sup>15</sup>.

### **Sistemas de Electricidad Eólica**

La producción de energía eléctrica a través del viento se asocia con el uso de los aerogeneradores (ver figura 25). Las pequeñas turbinas eólicas, tienen un rango de 0,3 a 100 kW, muchas veces son la fuente de electricidad más económica para sitios aislados, cuando el recurso eólico es apropiado y su operación es simple y barata (BUN-CA, 2002b).

<sup>15</sup> Ministerio de Agricultura y Riego: <https://www.gob.pe/minagri>.



**Figura 25.** Esquema de la instalación de un aerogenerador de baja potencia (EDEVI, 2004).

## ***Energía Hidráulica***

### **Pequeños Sistemas Hidroeléctricos**

En general, se pueden clasificar los sistemas hidroeléctricos de acuerdo a la capacidad instalada expresada en términos de potencia:

- Pico hidroeléctrica : menos de 1 kW
- Micro hidroeléctrica : de 1 a 100 kW
- Mini hidroeléctrica : de 100 kW a 1 MW
- Pequeña hidroeléctrica : de 1 a 10 MW

En Perú, las centrales hidroeléctricas que tienen un tamaño menor o igual a 20 MW, se les considera como Recurso Energético Renovable.

## ***Biomasa***

### **Energía del Biogás**

- Sistemas de Iluminación con Biogás
- Sistemas de cocción con Biogás
- Sistemas de fuerza motriz con Biogás
- Sistemas de Electricidad con Biogás

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). La tabla 9 muestra que el biogás puede emplearse para satisfacer la demanda de energía asociada a varias aplicaciones en el hogar.

**Tabla 9.** Demanda de biogás asociada con varias aplicaciones (Oliveros, 2014).

Elemento	Consumo de Biogás	Unidades
1 Lámpara	0,12	m <sup>3</sup> / h
1 Quemador	0,30	m <sup>3</sup> / h
1 Motor	0,50	m <sup>3</sup> /hp-h
	1,00	m <sup>3</sup> /kWh
1 Litro de agua (hervir)	0,08	m <sup>3</sup>
2 kg papa (cocción)	0,16	m <sup>3</sup>
1 kg arroz (cocción)	0,20	m <sup>3</sup>
2 Litros leche (cocción)	0,12	m <sup>3</sup>

### 2.1.18 Aplicaciones Energéticas

Consiste en la implementación de soluciones eficientes al consumo y/o generación de energía tradicional utilizando tecnologías limpias, eficientes y apropiadas (ver tabla 10). Existen diferentes tecnologías para poder aprovechar los RER.

**Tabla 10.** Aplicaciones Energéticas de las Energías Renovables (Tamayo, 2011).

Recurso	Tecnología	Elementos	Aplicación
Solar	Fotovoltaica	Celdas solares	Electricidad
	Térmica	Colectores	Calor, electricidad
	Pasiva	Muros, ventanas, etc.	Calor, iluminación
Eólica	Fuerza motriz	Aerobombeo	Fuerza motriz
	Generación eléctrica	Aerogeneradores	Electricidad
Biomasa	Digestión anaeróbica	Biodigestión	Biogás combustible
	Gasificación	Gasificador	Gas combustible
	Pirólisis	Pirolisador	Combustible
	Fermentación Alcohólica	Destilería	Bioetanol
	Esterificación	Unidad de esterificación	Biodiésel
	Combustión	Hornos, calderas	Calor, electricidad
Hidráulica	Centrales Hidroeléctricas	Pequeñas Centrales Hidráulicas	Electricidad
	Pequeños aprovechamientos	Rueda	Fuerza motriz
Océanos	Mareas	Barreras, turbinas	Electricidad
	Olas	Flotadores, columna, aparatos focalizadores	Electricidad
	Diferencias de temperaturas	Turbinas condensadores	Electricidad
	Corrientes marinas		Electricidad
Geotérmica	Generación eléctrica	Plantas de energía	Electricidad
	Usos directos	Aguas termales	Calor, recreación, salud

## 2.2 MARCO REGULATORIO SOBRE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL PERÚ

En la siguiente tabla se presenta la legislación peruana en materia de energías renovables.

**Tabla 11.** Regulación de las Energías Renovables en el Perú (Mitma, 2015).

N°	Año	Legislación	Nombre	Descripción
1	2003	Decreto Legislativo N° 25843	Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento.	Norma que crea el mercado eléctrico, define los mecanismos para la regulación de tarifas, la supervisión de las actividades eléctricas y establece su arreglo institucional.
2	2005	Decreto Legislativo N° 28546	Ley de Promoción y Utilización de Recursos Energéticos Renovables No Convencionales en zonas aisladas y de frontera del país.	Promueve el uso de las Energías Renovables no Convencionales para fines de electrificación, con el fin de contribuir al desarrollo integral de las zonas rurales, aisladas y de frontera del país, así como mejorar la calidad de vida de la población rural y proteger el medio ambiente.
3	2006	Decreto Legislativo N° 28832	Ley de Generación Eficiente.	Norma que perfecciona las reglas establecidas en la Ley de Concesiones. Promueve licitaciones y contratos de largo plazo. Establece el marco legal para el desarrollo de la transmisión eléctrica, entre otros.
4	2008	Decreto Legislativo N° 1002	Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.	Norma que declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de electricidad con RER. Define las autoridades competentes y establece los mecanismos de promoción de los proyectos RER.
5	2008	Decreto Legislativo N° 1058	Ley que promueve la inversión en la actividad de generación con recursos hídricos y con otros recursos renovables.	Norma que establece el beneficio de la depreciación acelerada para efectos del Impuesto a la Renta.
6	2011	Decreto Supremo 012-2011-EM	Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables.	Norma que contiene los criterios técnico-económicos y de detalle de los alcances de la Ley N° 1002 con relación a la producción de electricidad RER para la venta al Sistema Interconectado Nacional.
7	2013	D.S. N° 024-2013-EM	Modificación el Reglamento de la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables y el Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas.	Aprueban la modificación de diversos artículos del Reglamento del Decreto Legislativo N° 1002, aprobado por el Decreto Supremo 012-2011-EM.
8	2013	D.S. N° 020-2013-EM	Reglamento para la promoción de la inversión eléctrica en áreas no conectadas a red.	Norma que contiene los criterios técnico-económicos y de detalle de los alcances de la Ley N° 1002 con relación a la producción de electricidad RER para zonas aisladas y remotas del país. (RER off-Grid).
9	2015	Decreto Legislativo N° 1221	Decreto Legislativo que mejora la regulación de la distribución de electricidad para promover el acceso a la energía eléctrica en el Perú	Decreto Legislativo publicado el 24 de setiembre de 2015 el cual modifica diversos artículos de la Ley de Concesiones Eléctricas. Así mismo, menciona el uso de Generación Distribuida para aquellos usuarios del servicio público de electricidad que disponen de equipamiento de generación eléctrica renovable no convencional o de cogeneración.



### III. ACASO DE ESTUDIO: COMUNIDAD SAN FRANCISCO DE RAYMINA

#### Ubicación

La localidad en estudio (Figura 26) pertenece al Anexo de la comunidad de Cocha, distrito de Huambalpa, Provincia de Vilcashuamán - Región Ayacucho, Perú. Se encuentra localizada a 3798 msnm., con coordenadas: latitud 13°44'34.70'' Sur y longitud 73°53'04.50'' Oeste.



**Figura 26.** Vista panorámica de la comunidad San Francisco de Raymina.

#### Clima

El clima en la zona baja es cálido, en las partes medias es templado y en las partes altas el clima es frío. A continuación, se muestran los parámetros meteorológicos promedios del lugar (Molina et al., 2019).

- Temperatura 9,3 °C
- Humedad relativa 69,2 %
- Irradiancia diaria 249,2 W/m<sup>2</sup> (promediado sobre 24 horas)

La temporada de lluvias ocurre entre los meses de diciembre y abril, donde ocasionalmente se producen tormentas eléctricas y granizadas. El resto del año es seco.

## Vías de comunicación

**Tabla 12.** Medios de transporte para trasladarse de Lima a la comunidad de Raymina.

Tramos	Distancia (km)	Tiempo recorrido (h)	Transporte	Tipo de vía
Lima-Huamanga (Ayacucho)	567	10,0	Bus	Carretera asfaltada
Huamanga-Vilcashuamán	120	2,5	Auto colectivo	Carretera asfaltada
Vilcashuamán- Raymina	28	0,5	Auto	Carretera afirmada
Lima-San Francisco de Raymina	715 km	13 horas		



**Figura 27.** Mapa de ubicación de la comunidad de Raymina (Espinoza, 2014).

## Características topográficas

La comunidad San Francisco de Raymina está comprendido entre quebrada a puna, lugar donde se sitúa la población. La topografía de la zona es variada, presenta partes ligeramente planas y otras accidentadas de vertientes montañosas; existen también zonas ligeramente escarpadas con afloramiento rocoso.

## Población

La población de Raymina, está conformada por 35 familias con una población total de 109 habitantes (52,3 % son mujeres). La localidad cuenta con una plaza principal, área de recreación pública, áreas de circulación consideradas como calles. Las viviendas se encuentran sobre terrenos lotizados (aproximadamente: 350 m<sup>2</sup> cada uno), y construidas con paredes de adobe, estructura de techos de rollizos de eucalipto, cobertura de techos generalmente de calamina, puertas de madera y con pisos de tierra (Espinoza, 2014). La mayoría de las viviendas presentan infiltraciones de aire exterior, a través de rendijas o agujeros, en los muros, techos, puertas y ventanas. La localidad tiene una escuela primaria y un local comunal, construida con material noble. La escuela primaria, tiene 2 profesores y una población estudiantil de 18 niños de edades comprendidas entre 5 a 11 años. La escuela

dispone de energía eléctrica y agua potable. El local comunal, solo es utilizado para asambleas comunales y para el desarrollo de cursos de capacitación. La tabla 13 muestra el nivel educativo alcanzado por los pobladores de la comunidad.

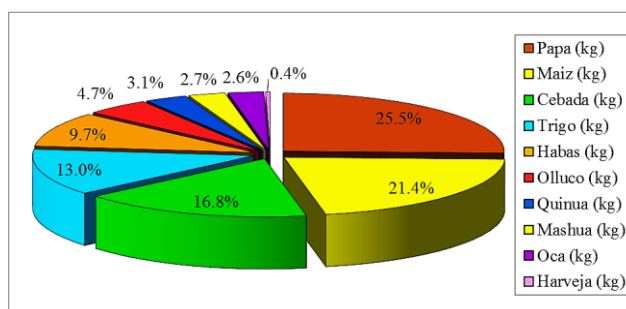
**Tabla 13.** Nivel educativo de la población.

No cuenta con Estudios	Primaria		Secundaria		Superior	
	Incompleta	Completa	Incompleta	Completa	Incompleta	Completa
16,4%	23,6%	15,5%	12,7%	31,8%	0,0%	0,0%

En lo referente al nivel educativo de la población, solo el 31,8 % de los pobladores terminaron la escuela secundaria.

### Aspectos socioeconómicos

La mayoría de la población se dedica a la agricultura y en sus campos siembran tubérculos, hortalizas y cereales. La figura 28 muestra los cultivos principales de la localidad; toda la producción es para autoconsumo.



**Figura 28.** Principales cultivos de la comunidad San Francisco de Raymina (en porcentaje de producción).

Los ingresos, en términos económicos, provienen por la venta de ganado vacuno u ovino. Asimismo, provienen de los programas sociales que el Estado promueve en zonas de pobreza. El incentivo económico de los programas sociales Juntos y Pensión 65 son S/ 200 y S/ 250 bimestrales, respectivamente. En la localidad, 3 pobladores tienen negocio propio (bodega pequeña), un poblador cuenta con movilidad y hace taxi colectivo a Vilcashuamán.

### Servicios

La población cuenta con los servicios básicos de energía eléctrica y agua potable, pero carecen de desagüe; las necesidades fisiológicas se hacen en letrinas de silo seco, La población no dispone de una posta médica. Los medios de información son la radio y TV por cable. La comunidad de Raymina cuenta con cobertura de telefonía móvil.

## IV. SITUACIÓN ENERGÉTICA DE SAN FRANCISCO DE RAYMINA

### 4.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El diagnóstico energético de la localidad se desarrolló a través de la recopilación de información a partir de la observación directa y entrevistas a los jefes de familia (encuestas). Esta evaluación, permitió identificar las necesidades básicas de energía que presentan los hogares (consumo de energía y uso final de la energía). Dicha encuesta (Ver Anexos), tuvo lugar en la comunidad San Francisco de Raymina del 15 al 20 de octubre de 2018; se lograron encuestar a 24 jefes de familias. El diagnóstico energético nos permitió conocer:

- ¿Qué tipos de energía se utiliza en los hogares?
- ¿Cuánto de energía se consume en el hogar?
- ¿Qué tipos de energía se utiliza en la comunidad?
- ¿Cuánto de energía se consume en la comunidad?
- Costos de la energía.
- La demanda futura de energía.
- Uso y demanda de energía para actividades productivas.

La tabla 14 muestra los resultados de la demanda energética local. Se aprecia los diversos recursos energéticos utilizados por la población y el consumo final de los mismos.

**Tabla 14.** Demanda energética en la comunidad de Raymina.

Recurso energético	Uso final	Porcentaje de uso
Electricidad de la red	Iluminación, electrodomésticos	95,8 %
Gas licuado de petróleo(GLP)	Cocción de alimentos	70,8 %
Leña	Cocción de alimentos, calentamiento de agua y calefacción del hogar	100,0 %
Solar	Calefacción del hogar (invernaderos familiares)	57,1 %
Vela	Iluminación	4,2 %
Gasolina	Transporte (taxi colectivo)	4,2 %
Diésel	Motor diésel (Molienda de granos)	4,2 %

#### 4.1.1 Servicio de energía eléctrica en la comunidad

La comunidad San Francisco de Raymina tiene el acceso al servicio de energía eléctrica desde el año 2006; la energía proviene del Sistema Eléctrico (SE0068) Cangallo-LLusita, localizada a una distancia aproximada de 70 km y es suministrado por la empresa Electrocentro S.A. La infraestructura y la tarifa eléctrica en la comunidad se encuentran

subsidiadas a través del Fondo de Compensación Social Eléctrica (FOSE)<sup>16</sup>. En la tabla 15, a modo de referencia se presenta el costo de inversión para llevar a cabo la electrificación de viviendas en zonas rurales, basada en proyectos de electrificación rural desarrollados por la DGER/MEM en la Provincia de Vilcashuamán - Región Ayacucho.

**Tabla 15.** Inversión estimada en electrificación de las zonas rurales de Ayacucho.

Nº de usuarios	Línea primaria USD	Redes primarias USD	Redes secundarias USD	Total USD
35	6507,0	7310,0	11 443,0	25 260,0

Tipo de cambio: USD 1,0 = S /3,50 (Elaborado sobre la base de la información de Electrocentro S.A.)

Costo de O&M (anual)<sup>17</sup> = USD 1010,4

#### Descripción de la red eléctrica

- La comunidad de Raymina cuenta con energía eléctrica muy limitada, por una línea de 13,2 kV, 60 Hz, monofásico con retorno por tierra (MRT), que llega a un transformador de 5 kVA localizado en la población (ver figura 29). Del transformador se distribuye una red local, conexión aérea de baja tensión (BT), de 220 V, 60 Hz, monofásico y acometida simple para 35 viviendas y 5 postes de alumbrado público, de 50 W c/u. Cada vivienda cuenta con un medidor simple de energía y un termomagnético bipolar 220 V, 16 A.



**Figura 29.** Vista del transformador de distribución monofásico de 5 kVA localizado en la comunidad de Raymina.

<sup>16</sup> FOSE: mediante la Ley N° 27510, es un esquema de subsidios cruzados creado con el objetivo de favorecer a los hogares con bajos niveles de consumo de electricidad. En la actualidad, los hogares con consumos mensuales menores a 30 kWh gozan de un descuento de 25% en su facturación mensual -si están abastecidos por el sistema interconectado.

<sup>17</sup> Según el Banco de Proyecto del SNIP, para sistemas convencionales, el costo de O&M sin considerar la compra de energía puede variar entre el 2 % y 4 % de los activos (DGPI/MEF, 2011).

La tabla 16 contiene información técnica referente al suministro de energía eléctrica que proporciona la empresa eléctrica Electrocentro S.A.

**Tabla 16.** Datos técnicos del suministro de energía eléctrica.

Descripción	Datos del suministro
Nivel de Tensión	BT 220 V
Fase	Monofásica
Potencia conectada <sup>1</sup> (Pc)	≤ 3 kW
Potencia contratada	0,85 kW
Tipo de Red	Aérea
Opción Tarifaria <sup>2</sup>	BT5B (2 hilos)
Cargo fijo de energía	S/ 3,99
Reposición y Mantenimiento	S/ 1,10
Alumbrado público	S/ 0,69
Costo por kWh	S/ 0,426

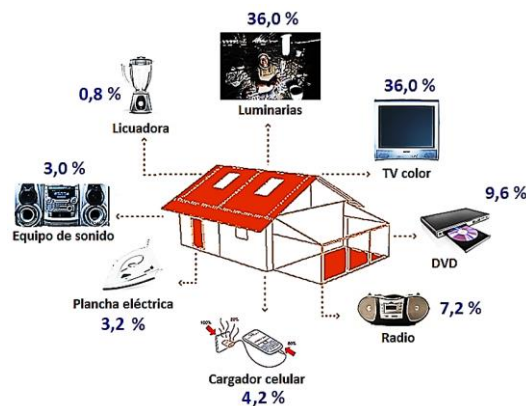
1 y 2: Información basada en el “Proyecto de Resolución de Fijación de los Costos de Conexión Eléctrica 2019-2023” elaborado por Osinergmin y publicado en el diario el Peruano en abril del 2019 (Diario El Peruano, 2019).

### *Consumo doméstico de energía eléctrica*

A continuación, se presentan el consumo promedio de energía eléctrica en los hogares y la distribución porcentual según el uso (véanse la tabla 17 y la figura 30).

**Tabla 17.** Consumo promedio de energía eléctrica en los hogares.

Equipos	Potencia (W)	Cantidad	horas/día	horas/mes	Wh/día	Wh/mes
Luminarias	20,0	3	2,50	75,00	150,00	4,50
TV color	75,0	1	2,00	60,00	150,00	4,50
DVD	20,0	1	2,00	60,00	40,00	1,20
Radio	15,0	1	2,00	60,00	30,00	0,90
Cargador celular	5,0	1	3,50	105,00	17,50	0,53
Equipo de sonido	75,0	1	0,17	5,00	12,50	0,38
Licudadora	240,0	1	0,014	0,42	3,33	0,10
Plancha eléctrica	800,0	1	0,017	0,50	13,33	0,40
						12,50



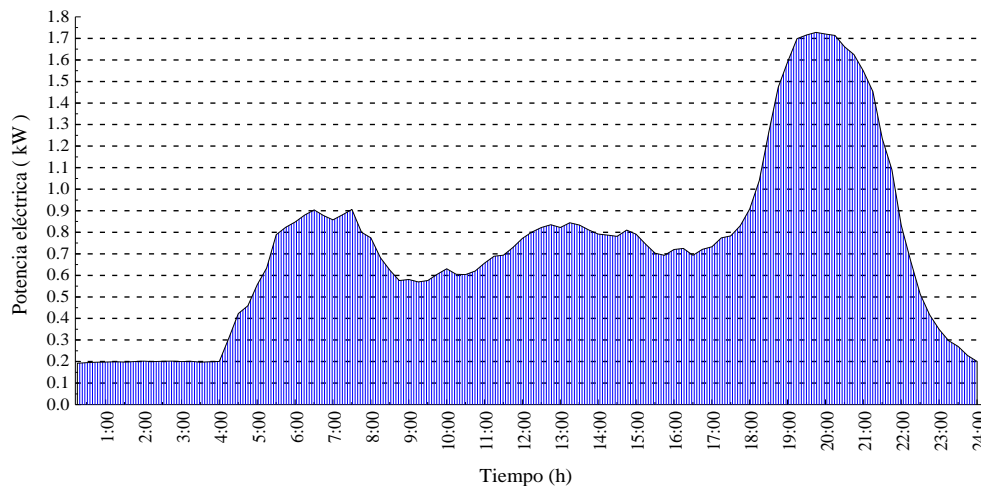
**Figura 30.** Distribución porcentual del consumo eléctrico según el uso en los hogares.

En la tabla 18 se muestra las diversas fuentes de iluminación utilizadas en los hogares.

**Tabla 18.** Fuentes de iluminación doméstica en la localidad.

Fuentes de luz	Porcentaje de uso
Lámpara incandescente	33,3%
LFC	62,5%
Vela	4,2%

En la figura 31 se muestra el perfil típico de consumo eléctrico diario de toda la comunidad. Se consideró información provista por la empresa Electrocentro S.A. para definir el plan tarifario en zonas rurales de Ayacucho.



**Figura 31.** Perfil típico diario del consumo de energía eléctrica de la comunidad San Francisco de Raymina (Basada en información brindada por Electrocentro S.A.).

### Análisis de los resultados del consumo de energía en la localidad

- El consumo de energía eléctrica diario local es limitado de 04:00 - 23:00 h.
- La demanda máxima de carga diaria por familia resulta ser 1,72 kW a las 19:30 h.
- El consumo promedio de energía eléctrica diario de la comunidad de Raymina incluyendo el alumbrado público resulta ser 17,56 kWh (se calcula integrando la curva potencia vs tiempo del perfil típico diario de consumo de electricidad).
- El consumo promedio mensual de energía eléctrica por familia resulta ser 12,50 kWh y el servicio tiene un costo promedio de S/ 10,0.
- Los principales usos de la energía eléctrica en los hogares son para iluminación, 36 %, y electrodomésticos, 64%.
- La localidad presenta frecuentemente interrupciones del suministro eléctrico en temporadas de lluvias por fenómenos meteorológicos.
- La energía eléctrica proporcionada por la empresa eléctrica Electrocentro S.A., es limitada e insuficiente para el desarrollo de procesos productivos en la zona.

#### 4.1.2 Usos energéticos de la leña

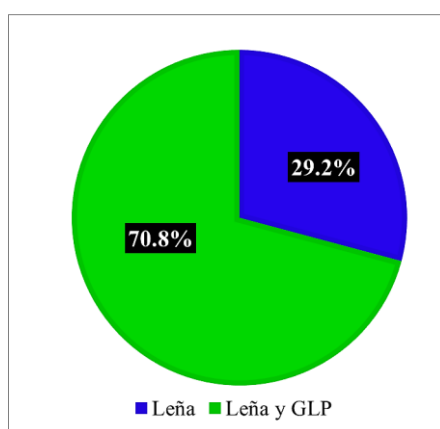
El 100 % de las familias de la localidad utiliza la leña como fuente energética principal para uso doméstico: cocción de alimentos, calentamiento de agua y calefacción del hogar.

##### 4.1.2.1 Cocción de alimentos

En la localidad, los pobladores utilizan diversas cocinas a leña para la cocción de alimentos. Por lo general, la población combina el uso de cocinas de leña con cocinas de GLP (véanse la tabla 19 y figura 30).

**Tabla 19.** Cocinas empleadas para la cocción de alimentos.

Tipo de Cocina	Combustible	Porcentaje de uso
Cocina mejorada	Leña	20,82 %
Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	41,67 %
Cocina mejorada y cocina de tres piedras	Leña	4,17 %
Cocina de barro	Leña	4,17 %
Cocina de barro y gas	Leña y GLP	25,00 %
Cocina de tres piedras y gas	Leña y GLP	4,17 %



**Figura 32.** Combustible utilizado para la cocción de alimentos (en porcentaje en uso).

La tabla 20 muestra el costo promedio mensual del combustible de acuerdo al consumo utilizado para cocinar.

**Tabla 20.** Consumo y costo mensual de combustible para la cocción de alimentos.

Consumo de combustible	Costo (S/ )
Leña (aprox. 160 kg)	52,0
Leña y GLP (aprox. 60 kg de leña + 1 balón de GLP <sup>18</sup> )	42,0

<sup>18</sup> La población compra su balón de gas GLP de 10 kg con vale de descuento FISE de S/ 16,0 en Vilcashuamán.



El estado peruano, a través del Fondo de Inclusión Social Energético (FISE) ha promovido el uso de GLP en zonas vulnerables del país con la finalidad de promover el uso de energías más limpias y eficientes. La comunidad San Francisco de Raymina se encuentra dentro de estas zonas por lo que las familias mensualmente reciben un vale de descuento de S/ 16,0 para la compra de 1 balón de GLP de 10 kg en los centros autorizados en la provincia de Vilcashuamán. Generalmente, las familias hacen uso de este vale cada 2 meses.

#### **4.1.2.2 Calentamiento de agua y calefacción de viviendas**

En la tabla 21 se aprecia los tipos de cocina que emplean las familias con la finalidad de calentar agua para uso doméstico (higiene personal, lavado de utensilios y lavado de ropa) y calefacción de sus hogares.

**Tabla 21.** Cocinas empleadas en la localidad para el calentamiento de agua y calefacción del hogar.

<b>Tipo de Cocina</b>	<b>Tipo de combustible</b>	<b>Uso</b>	<b>Porcentaje de uso</b>
Cocina mejorada	Leña	Calentamiento de agua y calefacción	16,7 %
Cocina de barro	Leña	Calentamiento de agua y calefacción	25,0 %
Cocina de tres piedras	Leña	Calentamiento de agua	58,3 %

- Porcentaje de familias que utilizan leña : 100 %
- Consumo promedio mensual de leña por familia : 8 kg
- Costo promedio mensual por el consumo de leña : S/ 3,0

#### **4.1.3 Uso de la Energía Solar**

En general, el recurso energético renovable de mayor aprovechamiento en la localidad es la energía solar. Es empleada para la generación de electricidad, calentamiento agua y calefacción de viviendas.

##### **4.1.3.1 Generación de electricidad**

En la localidad, el albergue comunal bioclimático aprovecha la tecnología solar para propósitos de iluminación de sus ambientes, cuenta con un sistema fotovoltaico de 75 W<sub>p</sub>.

##### **4.1.3.2 Calentamiento de agua**

El albergue comunal bioclimático dispone de tecnología solar para el calentamiento de agua, cuenta con una terma solar con capacidad de 70 litros para uso de higiene personal. La planta para elaboración de quesos cuenta con un sistema de calentamiento de agua con energía solar (SCAES) de 600 litros de capacidad como apoyo para el proceso de pasteurización de la leche.

#### **4.1.3.3 *Calefacción de viviendas***

El 57,1 % de las familias utilizan la energía solar para calentar sus viviendas a través de invernaderos adosados a las paredes adyacentes a los dormitorios. Actualmente, 20 familias de la comunidad cuentan con esta tecnología. La transferencia de calor desde el invernadero al interior de la vivienda es por medio de las ventanas, que permanecen abiertas durante la mañana y la tarde (el aire caliente ingresa a los dormitorios). Según un estudio realizado en la comunidad, las temperaturas máximas y mínimas en el interior del invernadero son de 30 °C y 4 °C, mientras que las temperaturas en el exterior son de 15,4 °C y -1 °C, respectivamente (Molina C., 2016).

Otra tecnología que aprovecha la energía solar para calefacción de viviendas son los techos con claraboyas, según resultados del estudio anterior, el calor diario que atraviesa la claraboya por metro cuadrado promedio mensual (ganancia por claraboya) resulta ser 3,92 kWh/m<sup>2</sup>. Esta tecnología se encuentra implementada en el albergue comunal bioclimático desde el 2012.

#### **4.1.4 *Proyectos desarrollados con uso de las energías renovables en la comunidad***

Desde el año 2004, la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), a través del Centro de Energías Renovables de la UNI (CER-UNI), ha llevado a cabo proyectos en la comunidad utilizando las energías renovables como fuente de energía para la aplicación de diversas tecnologías limpias y renovables.

Los proyectos estuvieron enfocados en promover el desarrollo de actividades productivas, pero también en mejorar las condiciones de confort térmico de las viviendas para hacer frente a las condiciones climáticas extremas de baja temperatura de la zona.

El detalle de los proyectos desarrollados por el CER-UNI en la comunidad San Francisco de Raymina, se presenta en la tabla 22.

**Tabla 22.** Proyectos desarrollados por el CER-UNI en la localidad aprovechando las energías renovables.

<b>Año</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Entidad Financiera</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Resultados</b>
2004-2007	Energización Sustentable de Comunidades Rurales Aisladas con Fines Productivos.	OEA	Promover el desarrollo de actividades productivas en el área rural a través de la transferencia sustentable de tecnologías de energías renovables, a fin de mejorar las condiciones de vida de sus pobladores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Implementación de 2 secadores solares modelo invernadero (tipo tiro libre y forzado).</li> <li>– Implementación de sistema de molienda de granos.</li> </ul>
2008-2010	Propuesta Técnica de Confort Térmico para localidades ubicadas entre 3000 y 5000 m s.n.m.	FINCYT	Presentar soluciones y lineamientos técnicos para aplicarse a viviendas en el ámbito altoandino, con la finalidad de obtener temperaturas confortables en el interior de ellas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modificaciones constructivas a una vivienda local, se mejoraron las condiciones de confort térmico.</li> <li>– Construcción de una vivienda bioclimática en la comunidad.</li> </ul>
2010-2011	Implementación de las Bases Tecnológicas para un sistema Multiproductivo y educativo en la Comunidad San Francisco de Raymina de Ayacucho.	GVEP International	Transformar la comunidad de San Francisco de Raymina en un sistema rural multiproductivo y educativo, sostenible y replicable, sobre la base de sus propios recursos con tecnologías limpias y energías renovables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Implementación de 20 cocinas mejoradas.</li> <li>– Implementación de 1 invernadero comunal y 20 invernaderos familiares.</li> <li>– Implementación de una planta quesera con SCAES.</li> <li>– Mejoramiento del sistema de molienda de granos.</li> <li>– Implementación de duchas solares.</li> <li>– Selección de rutas turísticas para el turismo vivencial en la localidad.</li> </ul>
2014-2018	Transferencia tecnológica para enfrentar eventos climáticos extremos transformando una comunidad rural altoandina en un sistema productivo sustentable con energías renovables en la comunidad San Francisco de Raymina.	CONCYTEC	Lograr una comunidad rural organizada y representativa para enfrentar climas extremos y agregar valor a sus productos, con un modelo replicable de organización poblacional rural para negocios sustentables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Implementación de 1 invernadero comunal y 32 invernaderos familiares.</li> <li>– Aislamiento de techos de 35 viviendas y local comunal con colchonetas de lana de oveja.</li> <li>– Implementación de 3 líneas productivas: Turismo vivencial, Gastronomía rural y Comercialización de productos.</li> </ul>

A continuación, se describe la situación actual en que se encuentran todas las tecnologías limpias y renovables implementadas por el CER-UNI en la localidad.

#### **a. Invernadero comunal**

- Tecnología implementada en el año 2016.
- Invernadero de 120 m<sup>2</sup> de superficie para cultivo de hierbas aromáticas y hortalizas.
- La estructura del techo son de rollizos de eucalipto.
- La cubierta del techo es de plástico de invernadero.
- La estructura de las paredes son muros de abobe de 0,40 m de espesor.

Esta tecnología, durante 3 años tuvo gran aceptación y mucho éxito. En la actualidad, se encuentra inoperativo. La falta de mantenimiento preventivo y correctivo fue la causa del deterioro. Tal como se muestra en la figura 33, el invernadero se encuentra cerrado.



**Figura 33.** (Izq.) Vista exterior del invernadero. (Der.) Vista interior del invernadero.

#### **b. Invernaderos familiares**

- Tecnología implementada el 2012 y rehabilitados en el año 2017.
- Invernaderos de 15 m<sup>2</sup> de superficie para cultivo de hierbas aromáticas y hortalizas.
- 20 invernaderos familiares se encuentran en buen estado y operativos de un total de 32 implementados.

Los invernaderos familiares han tenido gran aceptación y mucho éxito, pues cumplen doble propósito, proporcionan calefacción al interior de las habitaciones y producen diversos frutos, hortalizas y legumbres (ver figura 34), los cuales mejoran la dieta alimenticia de las familias. Los pobladores beneficiarios y capacitados por el CER-UNI se encuentran en la capacidad de replicar esta tecnología en otras localidades.



**Figura 34.** (Izq.) Vista frontal del invernadero familiar. (Der.) Vista interior del invernadero familiar, producción de hierbas y hortalizas.

### c. Secador solar

- Tecnología implementada el 2012 y rehabilitado el 2015.
- Estructura de madera con cubierta de plástico de invernadero.
- 20,5 m<sup>2</sup> de superficie interior para cargar el producto húmedo a razón de 10 kg/m<sup>2</sup>.

Actualmente, esta tecnología se encuentra inoperativo (ver figura 35), los accesorios se encuentran deteriorados y malogrados por falta de mantenimiento. Los pobladores no lo adoptaron como propia.



**Figura 35.** (Izq.) Vista frontal del secador solar. (Der.) Vista interior del secador solar.

### d. Molino de granos

- Tecnología implementada el 2008 y rehabilitado en el año 2015.
- Sistema mecánico de molienda compuesto por un aeromotor (molino de viento 3,5 m de diámetro rotor, 12 palas con torre de 6,5 metros) y un molino de platos para triturar granos.
- El sistema de transmisión no gira y los componentes se encuentran oxidados.

Tal como se muestra en la figura 36, esta tecnología se encuentra inoperativa por falta de mantenimiento. Los pobladores no lo adoptaron como propia.



**Figura 36.** Vista del molino de granos expuesta a la intemperie.

#### e. Duchas solares

- Tecnología implementada el 2012 y rehabilitado en el año 2015.
- Ambiente sanitario de 30,87 m<sup>2</sup> de superficie, dividido en duchas para varones y damas, cada una tiene instalados tres duchas de 1,10 m<sup>2</sup> de superficie.
- Cuenta con dos sistemas de calentamiento de agua con energía solar (SCAES) de 200 litros de capacidad cada una.
- El SCAES y la estructura metálica que lo soporta se encuentra en buen estado.

Actualmente, esta tecnología se encuentra inoperativa por la falta de mantenimiento (ver figura 37). El interior de las duchas se encuentra en mal estado. La población no cumplió con los compromisos asumidos de llevar a cabo las reparaciones del sistema.



**Figura 37.** (Izq.) Vista exterior de las duchas solares. (Der.) Vista interior de las duchas solares.

#### f. Cocinas solares tipo caja

- Dispositivos contruidos en el año 2017 para su implementación en la línea de turismo vivencial.
- La localidad cuenta con 4 cocinas solares tipo caja (ver figura 38), se encuentran en buen estado.

Actualmente, la tecnología no se ha implementado. Los pobladores no cumplieron con el compromiso pactado de culminar las instalaciones de la línea de turismo vivencial. Las cocinas solares tipo caja se encuentran en los almacenes de la comunidad de Raymina.



**Figura 38.** Vista de las cocinas solares tipo caja.

#### g. Planta de elaboración de quesos

- Tecnología implementada el 2012 y rehabilitado en el año 2015.
- La planta tiene una capacidad de 230 litros.
- Cuenta con un SCAES de 600 litros (ver figura 39), compuesta por 3 termas solares.
- Los equipos que integran la planta se encuentran en buen estado.

Actualmente, esta tecnología se encuentra inoperativo por falta de materia prima (leche). La comunidad de Raymina no realizó las gestiones necesarias para que la planta siga funcionando adecuadamente.

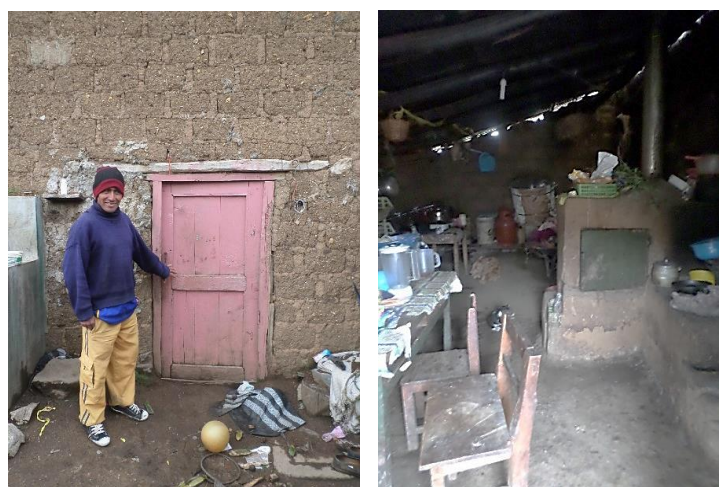


**Figura 39.** (Izq.) Vista frontal de la planta de elaboración de quesos. (Der.) Vista posterior.

#### **h. Cocinas mejoradas**

- Tecnología implementada el 2012 y rehabilitado en el año 2017.
- 16 cocinas mejoradas se encuentran operativos de un total de 20 implementadas.
- Esta tecnología (ver figura 40), ha tenido buena aceptación por parte de los pobladores porque consume menos leña y contamina menos su entorno.

Los pobladores capacitados por el CER-UNI se encuentran en la capacidad de replicar esta tecnología en otras localidades.



**Figura 40.** Vista de la cocina mejorada implementada en la vivienda del poblador beneficiario Ulises Castro Rojas.

#### **i. Albergue comunal bioclimático**

- Tecnología implementada el 2008 y rehabilitado en el año 2012.
- Presenta un invernadero adosado a las paredes que colinda con los dormitorios, aislamiento del techo con ichu, aislamiento higrotérmico de pisos, claraboyas en el techo, un calentador solar de agua y un sistema fotovoltaico (ver figura 41). Tiene cinco ambientes: sala, cocina, dos dormitorios y un baño. La temperatura en los dormitorios del albergue comunal, en promedio, es de 9 °C por encima de la temperatura exterior en temporadas de heladas.

Actualmente, los equipos instalados se encuentran en buen estado y operativos. La tecnología forma parte de la línea productiva de turismo vivencial. Es empleado para el alojamiento de personas foráneas que visitan la localidad o se encuentren de paso por la zona. La tecnología ha tenido gran aceptación por parte de la población con resultados exitosos. Los ambientes del albergue se encuentran en buen estado.





**Figura 41.** (Izq.) Vista frontal del Albergue comunal bioclimático. (Der.) Vista interior de la sala y de dormitorios.

#### **j. Módulo Experimental de Vivienda (MEV)**

- Tecnología implementada en el año 2013 como parte de investigación del CER-UNI.
- Construcción de adobe con muros de 0,4 m de espesor, tiene dos ambientes colindantes de 3,0 m de lado en sus bases y 2,4m de altura.
- El MEV tiene instalado 2 sistemas de calefacción, uno en cada ambiente, denominados: Muro radiante con agua solar y tubo radiante con agua solar.

Los sistemas de calefacción instalados se encuentran operativos y en buen estado. En la figura 42 se puede apreciar la vista exterior del MEV. Actualmente, se encuentra inhabitado.



**Figura 42.** Vista del Módulo Experimental de Vivienda (MEV).

#### **k. Techos y pisos aislados térmicamente**

- Tecnología implementada en el año 2017.
- En la comunidad de Raymina, 35 viviendas cuentan con techos aislados térmicamente con colchonetas de lana de oveja. El techado comprende solo los dormitorios, y cubre aproximadamente 40 m<sup>2</sup> de superficie del techo de cada vivienda.

- La tecnología fue adoptada por los pobladores de la localidad. Las familias beneficiarias señalan que se presentan mejoras en las condiciones térmicas en el interior de sus dormitorios.
- En la comunidad de Raymina, 4 viviendas presentan aislamiento higrotérmico de pisos. Tal como se muestra en la figura 43, los pisos aislados se hayan en buen estado.
- No se cuenta con información referente a las temperaturas en el interior de las viviendas de familias beneficiadas con techos y pisos aislados térmicamente.

Actualmente, la tecnología implementada de techos aislados térmicamente se encuentra en buen estado. Las 4 viviendas que presentan aislamiento higrotérmico de pisos forman parte de la línea productiva de turismo vivencial.



**Figura 43.** (Izq.) Vista de viviendas que cuentan con techos aislados térmicamente con lana de oveja. (Der.) Vista de vivienda que presenta aislamiento higrotérmico de pisos.

Por otra parte, la opinión de los pobladores encuestados sobre las tecnologías para usos productivos implementadas, se puede agrupar de la siguiente manera:

- Están abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente : 54,2 %
- Se requiere personal técnico capacitado para la O&M de las tecnologías : 33,3 %
- No son las más adecuadas para la comunidad : 12,5 %

El 62,5 % de las familias encuestadas desean contar con mayor energía para generar mayores ingresos económicos. Entre las actividades productivas que desean desarrollar se encuentran:

- Molienda de granos con máquinas molidoras.
- Bombeo de agua para sus campos agrícolas.
- Elaboración de trajes típicos con aplicaciones y bordados a máquina.
- Crianza tecnificado de animales menores.
- Desarrollo de artesanías.

## 4.2 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES

### 4.2.1 Instrumentación utilizada

La tabla 23 contiene información técnica de la estación meteorológica HOBO Micro Station Data Logger, que permite almacenar datos de radiación solar, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa.

**Tabla 23.** Especificaciones técnicas de la Instrumentación utilizada (Onset, 2019).

Micro - Estación Hobo Data Logger H21-002	
- Rango de Operación	- - 20 ° a 50 °C con baterías alcalinas. - - 40 a 70 °C con baterías de litio.
- Conectores de Sensores Inteligentes	- 5
- Canales de Datos de Sensores Inteligentes	- Máximo de 15 (algunos sensores inteligentes usan más de un canal de datos; consulte el manual del sensor para más detalles).
- Longitud del Cable de Red del Sensor Inteligente	- 100 m máximo.
- Intervalo de Registro	- 1 segundo a 18 horas.
- Modos de Inicio	- Inmediato, a intervalos, pulsador o inicio retrasado.
- Memoria	- Almacenamiento de datos flash no volátil de 512 kb.
- Exactitud	- 0 a 2 segundos para el primer punto de datos y $\pm 5$ segundos por semana a 25 ° C.
- Batería	- Cuatro baterías alcalinas AA de 1,5 V para condiciones de funcionamiento de -20 ° a 50 °C. Cuatro baterías de litio AA 1,5 V para condiciones de funcionamiento de -40 a 70 °C.
- Acceso al Recinto	- Puerta con bisagras asegurada por un pestillo con ojal para uso con candado provisto por el usuario.
- Dimensiones	- 17,04 x 11,94 x 4,47 cm
- Peso	- 414 g
- Tipo de Comunicación	- Interfaz USB 2.0
- Calificación Ambiental	- IP 50



### Piranómetro de Silicio S-LIB-M003

- Rango de medida	- 0 a 1280 W/m <sup>2</sup>
- Rango espectral	- 300 a 1100 nm
- Precisión	- $\pm 5\%$
- Resolución	- 1,25 W/m <sup>2</sup>
- Deriva	- 2 % por año (máx.)
- Temperatura de operación	- 40 °C a + 75 °C
- Número de bits por muestra	- 10
- Peso	- 120 g



Especificaciones	Sensor de Temperatura (S-THB-M002)	Sensor de Humedad Relativa (S-THB-M002)
- Rango de medición	- 40 °C a +75°C	0 - 100 % HR de - 40 ° a 75 °C
- Exactitud	0,21 °C entre 0° y 50 °C	± 2,5 % de 10 a 90 %
- Resolución	0,02 °C a 25 °C	0,1 % HR
- Bits por muestra	12	10
- Deriva	< 0,1 °C por año	< 0,1 °C por año típico
- Tiempo de respuesta	5 min en aire a 1 m/s	10 min en aire a 1 m/s con cubierta protectora
- Rango de temperatura de operación	- 40 °C a +75°C	- 40 °C a +75°C



Especificaciones	Sensor de Velocidad del Viento/Ráfaga (S-WSB-M003)	Sensor de Dirección del Viento (S-WDA-M003)
- Rango de medición	0 a 76 m/s	0 a 355 °, banda muerta de 5 °
- Máxima velocidad de resistencia	76 m/s	67 m/s
- Precisión	± 1,1 m/s o ± 4% de la lectura, la que sea mayor	± 5 °
- Resolución	0,5 m/s	1,4 °
- Umbral de arranque	1,0 m/s	1,0 m/s
- Rango de temperatura de funcionamiento	- 40 °C a +75 °C	- 40 °C a +70 °C
- Vida de servicio	> 5 años de vida típico	4 a 6 años típico dependiendo de las condiciones ambientales
- Radio de giro	9,5 cm	Aproximadamente 13,5 cm
- Peso	Aproximadamente 700 g	Aproximadamente 370 g
- Número de canales de datos	2	1



Figura 44. Imágenes de la Estación Meteorológica Hobo instalada (CER-UNI, 2012).

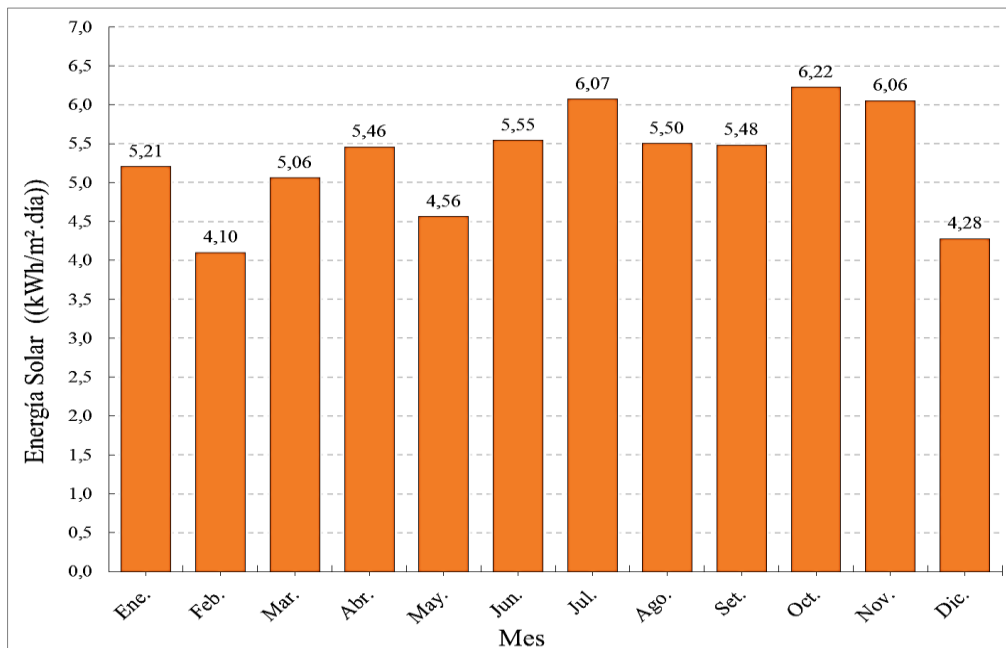
La comunidad San Francisco de Raymina cuenta con diversos recursos energéticos renovables (solar, eólica, biomasa e hídrico), los cuales pueden ser aprovechados para diversos fines.

#### 4.2.2 Recurso Energético Solar

Luego de haber analizado la información almacenada en el datalogger de la Micro-Estación Hobo de Raymina, se muestran la radiación solar acumulada por mes que dispone la localidad y la gráfica correspondiente (véanse la tabla 24 y la figura 45).

**Tabla 24.** Energía Solar diaria promedio mensual en la localidad.

Latitud:	13° 44' 34.70" S	<b>Mes</b>	<b>Energía solar kWh/(m<sup>2</sup>-día)</b>
Longitud:	73° 53' 04.50" O		
Altura:	3798 msnm.		
		Enero	5,21
		Febrero	4,10
		Marzo	5,06
		Abril	5,46
		Mayo	4,56
		Junio	5,55
		Julio	6,07
		Agosto	5,50
		Septiembre	5,48
		Octubre	6,22
		Noviembre	6,06
		Diciembre	4,28
		<b>Promedio anual</b>	<b>5,30</b>



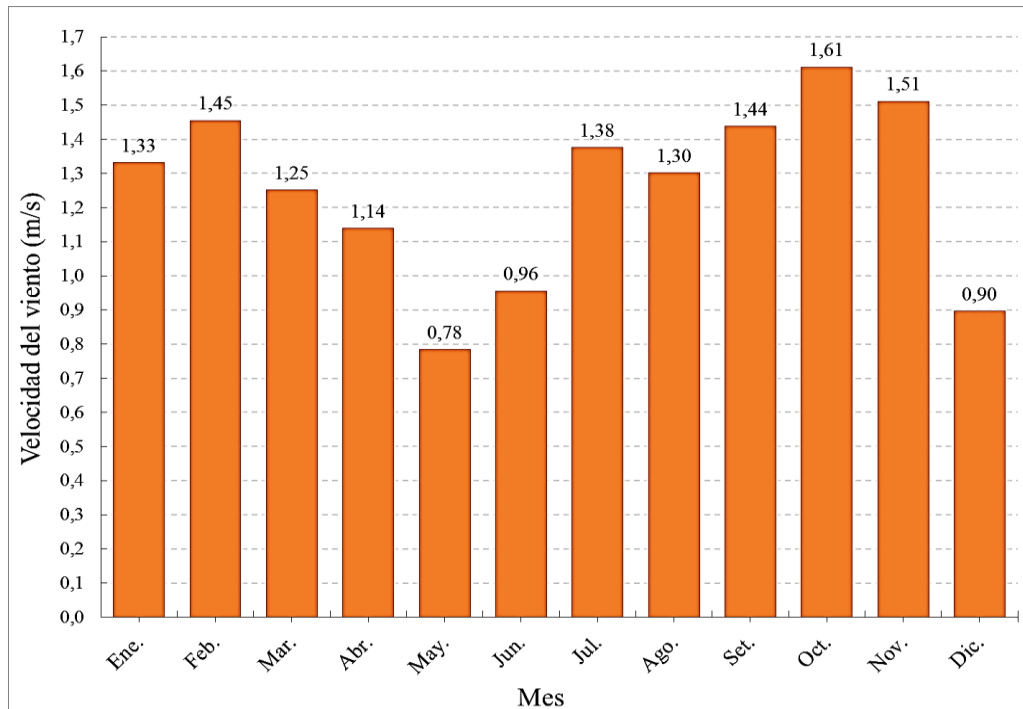
**Figura 45.** Gráfica Energía Solar diaria promedio mensual en San Francisco de Raymina.

### 4.2.3 Recurso Energético Eólico

Luego de haber analizado la información almacenada en el datalogger de la Micro-Estación Hobo de Raymina, se muestran la velocidad del viento promedio por mes que soporta la localidad y la gráfica correspondiente (véanse la tabla 25 y la figura 46).

**Tabla 25.** Velocidad del viento promedio mensual en la localidad.

Latitud:	13° 44' 34.70" S	<b>Mes</b>	<b>Velocidad promedio (m/s)</b>
Longitud:	73° 53' 04.50" O		
Altura:	3798 msnm.		
		Enero	1,33
		Febrero	1,45
		Marzo	1,25
		Abril	1,14
		Mayo	0,78
		Junio	0,96
		Julio	1,38
		Agosto	1,30
		Septiembre	1,44
		Octubre	1,61
		Noviembre	1,51
		Diciembre	0,90
		<b>Promedio anual</b>	<b>1,25</b>



**Figura 46.** Gráfica velocidad del viento promedio mensual en San Francisco de Raymina.

### Caracterización del recurso eólico

Para determinar el potencial eólico existente en el lugar se deben clasificar las velocidades registradas según las frecuencias con la que ocurrió cada una de ellas. Para tal propósito se emplea la distribución de velocidad de viento de Weibull.

### Distribución de Velocidad de viento de Weibull

Este análisis ofrece información sobre el comportamiento del viento, se expresa como:

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (9)$$

Donde:

- $P(v)$  : función de densidad de probabilidad de Weibull.
- $c$  (m/s) : parámetro de escala indica velocidad promedio del viento.
- $k$  : parámetro de forma indica el grado de dispersión de los registros.
- $v$  (m/s) : velocidad del viento medida en un instante.

Para calcular los parámetros  $k$  y  $c$  se utiliza la ecuación de probabilidad de Weibull, el cual viene expresada por:

$$p_i(v \leq v_i) = 1 - e^{-\left[\left(\frac{v_i}{c}\right)^k\right]} \quad (10)$$

Utilizando el método de regresión lineal propuesto por Touré (2005), se reduce a:

$$y_i = ax_i + b$$

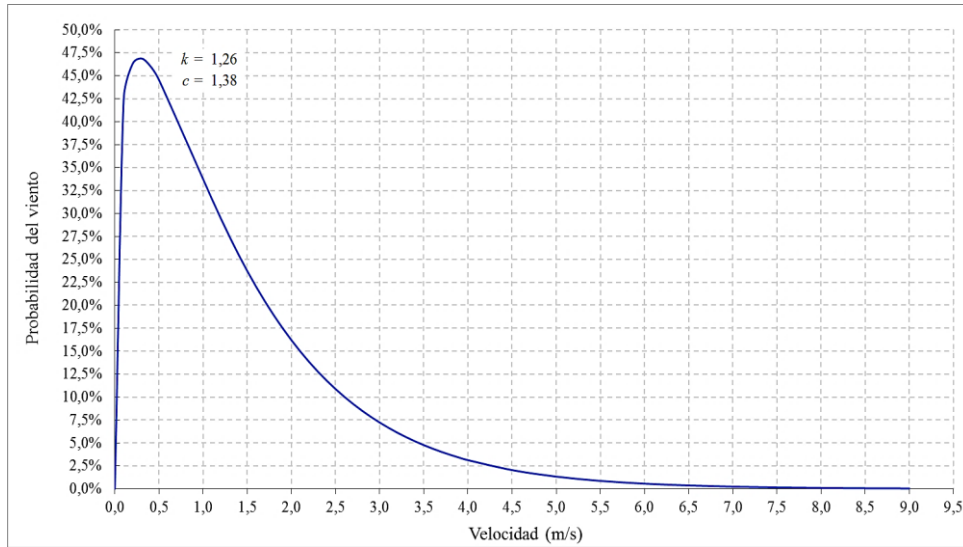
Donde:

- $y_i = \text{Ln}[\{\text{Ln}(1 / (1 - p_i))\}]$
- $x_i = \text{Ln}(v_i)$
- $a = -k \text{Ln}(c)$
- $b = k$

A continuación, en la tabla 26 se presentan los parámetros de la velocidad del viento para la localidad. En la figura 47 se grafica la Distribución de Weibull anual.

**Tabla 26.** Parámetros de la velocidad del viento para la comunidad de Raymina.

Mes	Curva		Parámetros		
			A	k	c
Enero	y = 1.1051 x - 0.3723	R <sup>2</sup> = 0.9914	-0,37	1,11	1,40
Febrero	y = 1.3929 x - 0.6231	R <sup>2</sup> = 0.9843	-0,62	1,39	1,56
Marzo	y = 1.3235 x - 0.4007	R <sup>2</sup> = 0.9893	-0,40	1,32	1,35
Abril	y = 1.2864 x - 0.3786	R <sup>2</sup> = 0.9589	-0,38	1,29	1,34
Mayo	y = 1.0527 x + 0.2136	R <sup>2</sup> = 0.9509	0,21	1,05	0,82
Junio	y = 1.1564 x - 0.0343	R <sup>2</sup> = 0.9599	-0,03	1,16	1,03
Julio	y = 1.4159 x - 0.6318	R <sup>2</sup> = 0.9896	-0,63	1,41	1,56
Agosto	y = 1.3316 x - 0.4884	R <sup>2</sup> = 0.9900	-0,49	1,33	1,44
Septiembre	y = 1.3463 x - 0.5970	R <sup>2</sup> = 0.9699	-0,59	1,35	1,56
Octubre	y = 1.4762 x - 0.9300	R <sup>2</sup> = 0.9966	-0,93	1,48	1,88
Noviembre	y = 1.2876 x - 0.6695	R <sup>2</sup> = 0.9987	-0,67	1,29	1,68
Diciembre	y = 0.9080 x + 0.0854	R <sup>2</sup> = 0.9935	0,08	0,91	0,91
Promedio			-0,40	1,26	1,38



**Figura 47.** Distribución de Weibull anual para la velocidad del viento en la localidad.

Con el valor del factor de escala  $c$  (m/s/) determinado, se calcula la Densidad de Potencia disponible del viento (WPD). La densidad de potencia ( $W/m^2$ ), se expresa como:

$$\frac{P}{A} \left( \frac{W}{m^2} \right) = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (11)$$

Donde:

$\rho$ : densidad del aire ( $T= 8,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $3798 \text{ msnm.}$ ) =  $0,742 \text{ kg/m}^3$

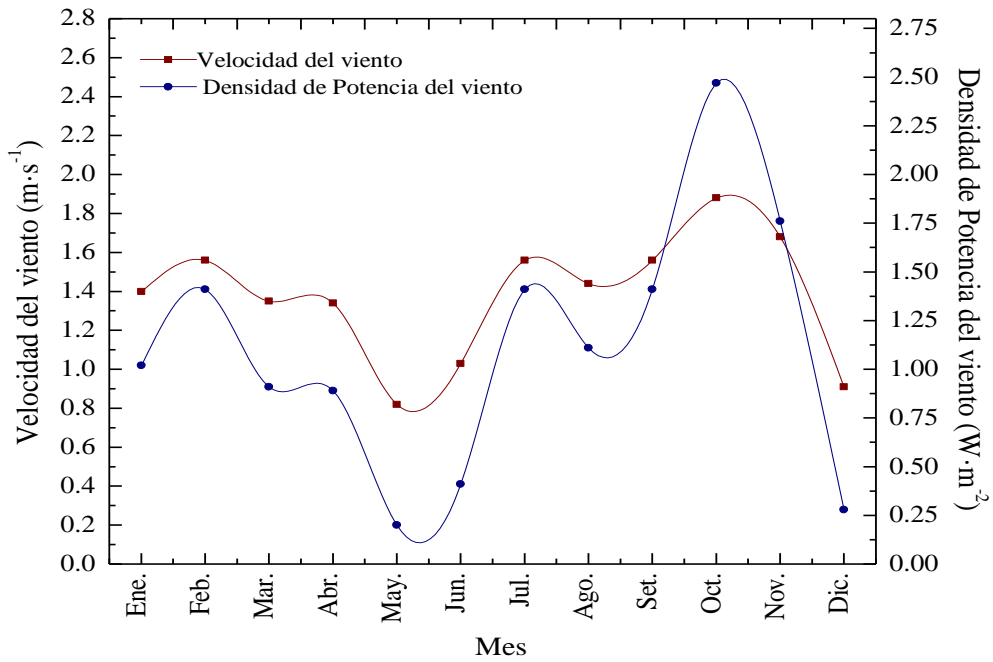
$v$ : velocidad del viento.

En la tabla 27 se muestra la densidad de potencia del viento mensual para la comunidad de Raymina y se representa gráficamente en la figura 48.

**Tabla 27.** Densidad de Potencia del viento por mes en la localidad.

Mes	Velocidad promedio (m/s)	Densidad de potencia ( $W/m^2$ )
Enero	1,40	1,02
Febrero	1,56	1,42
Marzo	1,35	0,92
Abril	1,34	0,90
Mayo	0,82	0,20
Junio	1,03	0,41
Julio	1,56	1,42
Agosto	1,44	1,12
Septiembre	1,56	1,40
Octubre	1,88	<b>2,46</b>
Noviembre	1,68	1,77
Diciembre	0,91	0,28
<i>Promedio</i>		1,11

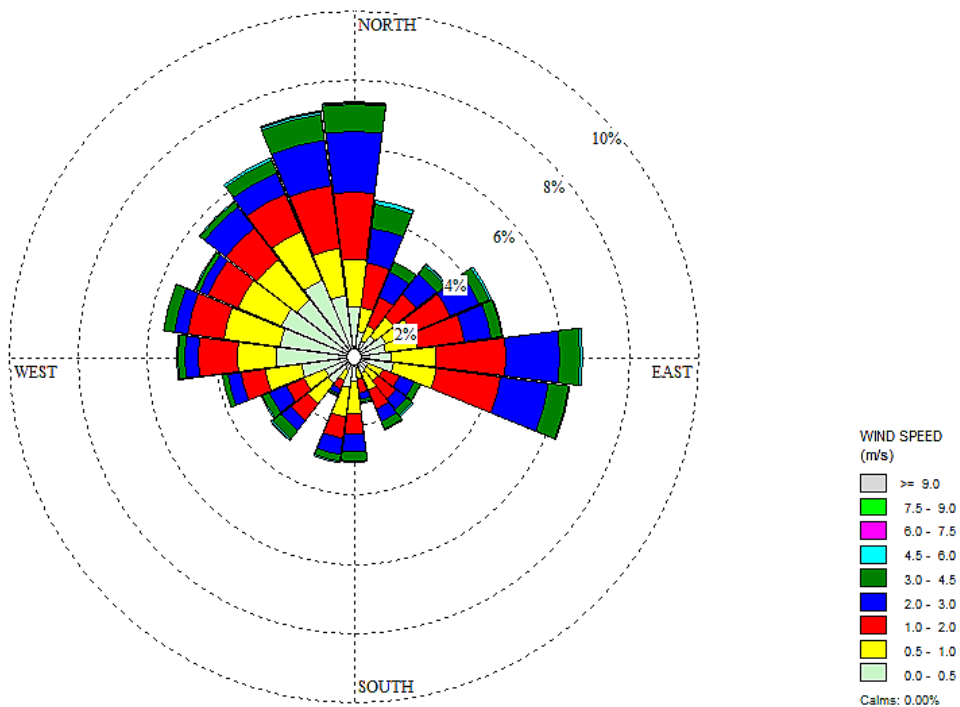




**Figura 48.** Gráfica Densidad de Potencia vs Velocidad de viento.

### Rosa de los vientos

Para el desarrollo de la Rosa de los vientos se utilizó el software WindRosePlot 7.0.0. En la figura 49 se muestra información sobre la distribución de las velocidades de viento y la frecuencia de la variación de las direcciones para la comunidad San Francisco de Raymina.



**Figura 49.** Rosa de los vientos para la comunidad de Raymina.

## **Análisis de los resultados de los recursos energéticos renovables: solar y eólico**

- Según los resultados de la evaluación, el promedio mensual de la radiación solar diaria varía entre 4,1 kWh/m<sup>2</sup>·día y 6,2 kWh/m<sup>2</sup>·día, que se registró en los meses de mayo y octubre, respectivamente.
- La radiación solar media anual diaria recibida en San Francisco de Raymina es de 5,3 kWh/m<sup>2</sup>·día.
- Para el estudio del viento en la comunidad, se llevó a cabo el procesamiento estadístico de la información registrada en la base de datos de la estación meteorológica CER-UNI. Se analizaron 8760 horas, lo que corresponde a un año. Las velocidades del viento están en el rango de 0 m/s a 8,9 m/s. La velocidad media anual del viento en la localidad resulta ser 1,38 m/s.
- Las velocidades de viento más frecuentes durante el año tienen valores iguales o menores a 1,0 m/s con una probabilidad de ocurrencia del 38,3 %.
- Los meses de febrero, setiembre, octubre y noviembre registran los mayores promedios mensuales de velocidad que varían entre 1,44 m/s y 1,61m/s con 23,8 % de probabilidad que se presenten.
- la densidad media anual de la energía eólica resulta ser 1,11 W/m<sup>2</sup>. El mes de octubre presenta una mayor densidad de energía eólica con 2,46 W/m<sup>2</sup>.
- Según la Rosa de los Vientos, las ráfagas de viento en la comunidad provienen principalmente del Norte (7,4%) y del Este (6,6%).
- El recurso potencial eólico disponible en la comunidad de Raymina puede aprovecharse para el uso de sistemas eólicos de baja potencia.

#### 4.2.4 Recurso Energético de la Biomasa

En la comunidad de Raymina, el tipo de energía de biomasa que se puede utilizar es el biogás, a partir del estiércol del ganado vacuno y ovino. En la tabla 28 se muestra la población de ganado vacuno y ovino con que cuenta la localidad.

**Tabla 28.** Población de ganado vacuno y ovino.

Tipo de ganado	Población
Vacuno	80
Ovino	1200

En la tabla 29 se muestran algunos rendimientos aproximados de los residuos orgánicos para la producción de biogás.

**Tabla 29.** Rendimiento en biogás de algunos desechos orgánicos (Oliveros, 2014).

Residuo orgánico	Biomasa (kg / día)	Biogás (m <sup>3</sup> / día)
Estiércol de vacuno	16	0,592
Estiércol de porcino	2,3	0,138
Estiércol de ovino	1,8	0,090
Estiércol de caprinos	1,8	0,090
Estiércol de aves	0,06	0,0048

#### Estimación de la producción de biogás

A continuación, en la tabla 30 se muestra la estimación de la producción de biogás en la comunidad de Raymina, basada en la población de ganado (vacuno y ovino) y la cantidad de biomasa que producen sus residuos orgánicos.

**Tabla 30.** Estimación del volumen de producción de biogás en la localidad.

Tipo de ganado	Población	Cantidad de Biomasa (kg/ día)	Producción de Biogás (m <sup>3</sup> /día)
Vacuno	80	1280	47,4
Ovino	1200	2160	108,0
Total diario			155,4 m <sup>3</sup> /día

Equivalente producción de energía eléctrica:

$$(\text{kWh/m}^3 \text{ biogás}) = 1,72 - 2,2 \text{ kWh/m}^3 \text{ (FAO, 2019).}$$

La tecnología apropiada para el aprovechamiento de estos recursos son los biodigestores.

Los sistemas de biogás pueden ser utilizados para una variedad de aplicaciones, incluyendo iluminación, cocción de alimentos, calentamiento de agua, fuerza motriz y generación de energía eléctrica.

#### 4.2.5 Recurso Energético Hídrico

Se realizaron mediciones del caudal de agua del arroyo que transcurre por la localidad. Las pruebas se desarrollaron en época de lluvias. Para calcular el caudal del arroyo, se aplicó el método del flotador (DGIAR-MINAGRI, 2015). Este método permite sólo un cálculo aproximado del caudal.

La estimación del caudal, se determina de la siguiente forma:

$$Q = Fc \times A \times (L/T) \quad (12)$$

Donde:

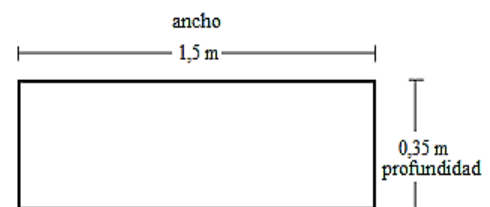
- Q (m<sup>3</sup>/s) : caudal
- L (m) : longitud entre 2 puntos del arroyo
- A (m<sup>2</sup>) : área transversal del arroyo
- T (s) : tiempo promedio entre 2 puntos
- Fc : factor de corrección relacionado con la velocidad

Para nuestro caso Fc = 0,5 (arroyo quebrado).

El canal del arroyo es poco profundo e irregular. Por tal motivo, el caudal fue calculado en el tramo más homogéneo (ver figura 50). Las pruebas se desarrollaron en el mes de diciembre del 2018.



*Tramo elegido:*



- Área transversal : 0,53 m<sup>2</sup>
- Longitud : 4,8 m
- Tiempo : 10 s

**Figura 50.** Vista del arroyo que transcurre por la comunidad de Raymina.

Reemplazando datos en la ecuación 12 se obtiene:

$$Caudal = 0,5 \times 0,53 \text{ m}^2 \times 0,48 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,127 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Diferencia de alturas del arroyo en el tramo más homogéneo:  $h = 1,10 \text{ m}$

Para la estimación de la potencia eléctrica, se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia (kW)} = \rho * g * Q * h * e \quad (13)$$

Donde:

$\rho$  : densidad del agua ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

$g$  : aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$Q$  : caudal del arroyo ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$h$  : altura

$e$  : factor de eficiencia eléctrica (50-60%)

Reemplazando datos en la ecuación 13 se obtiene la potencia eléctrica que se puede aprovechar del arroyo que transcurre por la comunidad de Raymina en temporada de lluvia.

$$\text{Potencia} = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,127 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,10 \text{ m} \times 0,55$$

$$\text{Potencia} = 0,75 \text{ kW}$$

En relación, con la situación energética actual que presenta la comunidad San Francisco de Raymina, se elaboró el siguiente análisis FODA (ver tabla 31).

**Tabla 31.** Análisis FODA: Situación energética de la localidad.

<b>FORTALEZAS</b>	<b>DEBILIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta radiación solar.</li> <li>• Alto potencial de residuos sólidos orgánicos.</li> <li>• Aprovechamiento del potencial energético renovable local para la energización sustentable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependencia de recursos energéticos poco eficientes y contaminantes en el hogar.</li> <li>• Energía eléctrica limitada e insuficiente para usos productivos.</li> <li>• Escaso personal capacitado para O&amp;M de tecnologías implementadas con energías renovables.</li> </ul>
<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación de tecnologías solares.</li> <li>• Aplicación de tecnologías de biomasa.</li> <li>• Ahorro y eficiencia energética por uso de tecnologías limpias y renovables.</li> <li>• Desarrollo de actividades productivas.</li> <li>• Mejora los ingresos económicos y la calidad de vida de los pobladores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortes frecuentes del suministro de energía eléctrica por fenómenos naturales en temporada de lluvia.</li> <li>• Infraestructura energética abandonada por falta de organización comunal.</li> <li>• Baja adaptación a los cambios tecnológicos.</li> </ul>

## **V. DESARROLLO DE ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE LOS SERVICIOS BÁSICOS DE ENERGÍA EN LA COMUNIDAD**

Sobre la base de la evaluación de la situación energética y el potencial de las energías renovables, se propone para la comunidad de Raymina las siguientes estrategias:

### **5.1 APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA SUSTENTABLE**

Tiene por objetivo fomentar el uso de los RERs como fuentes de energía alternativa limpia e inagotable para uso doméstico y productivo.

#### ***Acciones:***

- Estimar la demanda de energética local para uso doméstico y productivo.
- Establecer condiciones apropiadas para el aprovechamiento de los RERs con la finalidad de fomentar el uso de energías limpias e inagotables.
- Diversificar la oferta energética local con la incorporación de fuentes de energía renovables como una alternativa energética sustentable.

### **5.2 TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA LA COMUNIDAD**

Se basa en la definición de tecnologías eficientes y técnicamente viables para promover el ahorro y la eficiencia energética.

#### ***Acciones:***

- Evaluar el desempeño de las tecnologías locales para uso doméstico y productivo.
- Proponer tecnologías eficientes y viables, a fin de promover el ahorro energético y disminuir el consumo de energía.
- Aplicar tecnologías apropiadas para mejorar los procesos productivos en la localidad.

### **5.3 COBERTURA DE LOS SERVICIOS BÁSICOS ENERGÉTICOS**

Consiste principalmente en el desarrollo de soluciones tecnológicas para cubrir la demanda energética insatisfecha de la población.

#### ***Acciones:***

- Generación de energía eléctrica: sistemas fotovoltaicos y biodigestores.
- Cocción de alimentos: cocinas mejoradas, cocinas solares y biodigestores.

- Calentamiento de agua: termas solares, cocinas solares, biodigestores y cocinas mejoradas.
- Calefacción de viviendas: diseños bioclimáticos con sistemas solares pasivos.
- Tecnologías para usos productivos: invernaderos comunales, generadores fotovoltaicos, sistemas de calentamiento de agua con energía solar, sistema de tratamiento de los residuos orgánicos, sistemas pasivos de captación de energía solar para calefacción.

#### **5.4 ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS RENOVABLES IMPLEMENTADAS**

El objetivo es hacer que la población, especialmente los niños y jóvenes, sean más conscientes sobre los beneficios que genera la implementación de tecnologías renovables para el desarrollo de actividades domésticas y productivas. Es fundamental la adaptación y apropiación de las tecnologías para lograr el desarrollo comunal.

##### ***Acciones:***

- Sensibilizar a la población sobre el uso de las tecnologías renovables como sistemas energéticos viables y sustentables para el desarrollo de actividades productivas en la localidad.
- Desarrollar talleres de capacitación en operación y mantenimiento preventivo/correctivo de tecnologías limpias y renovables, dirigido a jóvenes y adultos, con la finalidad de contribuir al proceso de adaptación y apropiación tecnológica.
- Promover la enseñanza de las energías renovables en la escuela primaria, a fin de que los estudiantes adquieran los conocimientos necesarios y puedan familiarizarse con las tecnologías implementadas con energías renovables en la localidad.



## VI. PROPUESTAS TECNOLÓGICAS PARA EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES

A partir de identificar las necesidades energéticas de la comunidad San Francisco de Raymina y conocer el potencial aprovechable de las energías renovables, se desarrollaron las siguientes propuestas tecnológicas.

### 6.1 PLANTA FOTOVOLTAICA

Se propone la implementación de un sistema fotovoltaico de 4,5 kWp, conectado a la red local y con capacidad de almacenamiento, como una alternativa sustentable para complementar la red convencional actual, que presenta muchas interrupciones. De acuerdo con los resultados del diagnóstico energético, la oferta de energía eléctrica para toda la comunidad resulta ser actualmente 17,56 kWh·día<sup>-1</sup>.

En la tabla 32 se presenta el presupuesto económico para un sistema fotovoltaico que produce esta energía eléctrica; es decir, esta planta solar cubrirá la energía eléctrica actualmente disponible en la comunidad. Se propone su instalación inicialmente como complemento del sistema existente (conexión a la red nacional), garantizando así 17,56 kWh·día<sup>-1</sup> y duplicando la disponibilidad de energía eléctrica si funciona la conexión a la red nacional, con miras a ampliarla en el futuro y eliminar el sistema costoso de la red convencional actual.

**Tabla 32.** Presupuesto económico para la implementación de una planta fotovoltaica de 4,5 kW<sub>p</sub> en la comunidad de Raymina.

Item	Cantidad	Precio Unit. USD	Importe USD
Panel Fotovoltaico de 250 W <sub>p</sub>	18	210	3780
Batería de Litio 9,8 kWh	2	7105	14 210
Inversor mini central 5 kW	1	2990	2990
Medidor de energía	2	120	240
Protecciones eléctricas, cables	1	390	390
Sistema puesta a tierra	1	410	410
Estructura de soporte fija	1	1200	1200
Mano de obra, transporte de materiales	1	790	790
<b>Total</b>		<b>USD</b>	<b>24 010,0</b>

Tipo de cambio: USD 1,0 = S /3,50

## 6.1.1 Características generales de la planta fotovoltaica

### 6.1.1.1 Potencia del generador fotovoltaico ( $P_{GFV}$ )

Sobre la base tanto de la información del consumo promedio de energía eléctrica diario de toda la comunidad de Raymina como de la radiación solar diaria media anual que recibe la localidad, se ha elegido módulos policristalinos de la marca SolarWorld modelo SW 250 para conformar el generador fotovoltaico (resultan más accesibles en el mercado local). Los módulos se ubicaran sobre soportes metálicos fijos. Para determinar la potencia del generador fotovoltaico se requiere el número de módulos y se determina de la siguiente forma:

$$N_m = \frac{\text{Energía diaria necesaria}}{\text{Energía módulo}} \quad (14)$$

Reemplazando datos en la ecuación 14 se obtiene:

$$N_m = \frac{17,56 \text{ kWh}}{250\text{W} \times (5,3 \text{ h}) \times 0,75} = 17,67$$

$$N_m = 18$$

Luego:

$$P_{GFV} = 18 \times 250 \text{ W}_P = 4,5 \text{ kW}_P$$

### 6.1.1.2 Potencia del inversor

Basado en la potencia del generador fotovoltaico, el inversor solar elegido para la planta fotovoltaica es de la marca SMA Sunny Mini Central 5000A con una potencia máxima de salida AC de 5000 W. La potencia de entrada del inversor ( $P_{INV,DC} \approx P_{INV,AC}$ , en W) depende de la potencia en Condiciones Estándar de Medida (CEM) del GFV mediante el factor de dimensionado ( $F_S$ ). Usualmente,  $0,7 < F_S < 1,2$  (APES, 2014). La elección de un valor específico de  $F_S$  no altera significativamente la producción de electricidad AC. Como la planta fotovoltaica va ser implementado en una zona donde el clima es frío a 3 798 msnm., para evitar problemas y deficiencias en el correcto funcionamiento de nuestra instalación, es recomendable hacer un sobredimensionamiento de la potencia del inversor que contemple los picos de arranque, por tal motivo el  $F_S$  debe ser mayor a 1.

### 6.1.1.3 Banco de baterías de Litio

Las baterías más eficientes en la actualidad, son las de tecnología de Litio. Para la planta fotovoltaica se ha elegido Batería Solar de Litio LG Chem RESU 48V 9,8 kWh, la energía utilizable de 8,8 kWh, se emplearán 2 baterías de Litio para que el sistema tenga una

capacidad de almacenamiento de 17,6 kWh. Los acumuladores de energía sirven de respaldo en horarios o momentos donde no haya disponibilidad solar (por las noches y días nublados).

#### 6.1.1.4 *Inclinación óptima de los módulos ( $\beta$ )*

La inclinación óptima que deben tener los módulos fotovoltaicos en función de la latitud del lugar ( $\varphi$ ), se puede calcular como:

$$\beta = 0,69 \cdot |\varphi| + 3,7^\circ \quad (15)$$

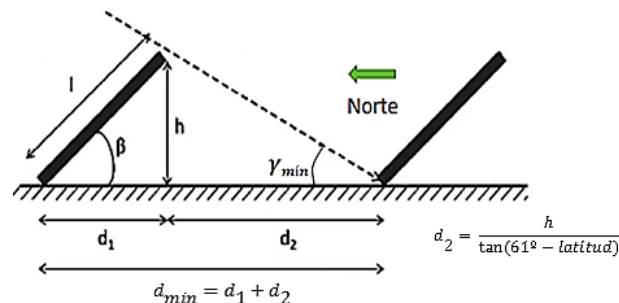
Para San Francisco de Raymina: Altura: 3798 msnm. Latitud ( $\varphi$ ) = -13,743

Reemplazando datos en la ecuación 15 se obtiene:

$$\beta = 13,2^\circ$$

#### 6.1.1.5 *Separación mínima entre 2 filas de módulos*

El generador fotovoltaico se encuentra conformado por 18 módulos de 250 Wp c/u, distribuidos en 2 cadenas por serie conectadas en paralelo (9 módulos por serie-cadena). En la figura 51 específica la distancia mínima que debe haber entre módulos para que no proyecten sombras entre ellas.



**Figura 51.** Distancia mínima de separación entre módulos.

Del esquema mostrado anteriormente, se deduce la ecuación siguiente:

$$d_{mín} = l[(\cos(\beta) + \sen(\beta))/(\tan(61^\circ - \beta))] \quad (16)$$

Se cuenta con la siguiente información:

$$l = 1,675 \text{ m}$$

$$\beta = 13,2^\circ$$

Reemplazando datos en la ecuación 16 se obtiene:

$$d_{mín} = 2,0 \text{ m}$$

### 6.1.1.6 Área de superficie requerida para el generador fotovoltaico ( $A_L$ )

Para calcular la superficie requerida, se debe conocer el tipo de tecnología que se va emplear. Para la planta fotovoltaica, se ha previsto elegir módulos policristalinos. La tabla 33 se especifica la superficie requerida para la instalación de 1 kW<sub>p</sub>.

**Tabla 33.** Superficie requerida por cada kW<sub>p</sub> de módulo fotovoltaico (APES, 2014).

Tecnología	Superficie de módulo que conforman 1 kW <sub>p</sub> ( $A_G$ , en m <sup>2</sup> )
Silicio monocristalino	5 – 7
Silicio policristalino	6,5 – 8,5
Diseleniuro de indio cúprico (CIS)	8,5 – 10
Teluro de Cadmio (CdTe)	9 – 11
Silicio amorfo	11 – 16

El área de superficie plana requerida para la ubicación del generador fotovoltaico en la localidad, se puede expresar como:

$$A_L = LF \times A_G \quad (17)$$

Donde:

$LF$ : factor de ocupación de terreno (Land Factor, en inglés).

$A_G$  (m<sup>2</sup>): 1 kW<sub>p</sub> < 6,5 – 8,5 > m<sup>2</sup> (se toma en consideración que 1 kW<sub>p</sub> requiere 7,5 m<sup>2</sup>).

La tabla 34 muestra los valores del factor de ocupación del terreno ( $LF$ ) de acuerdo a la latitud del lugar ( $\phi$ ).

**Tabla 34.** Valores para Land Factor según la latitud del lugar (APES, 2014).

Valor absoluto de la latitud (°)	$LF$
0 – 25	1,4
25 – 35	1,6
35 – 45	2
45 – 55	3

Para San Francisco de Raymina:  $LF = 1,4$

$$A_G = 4,5 \times 7,5 \text{ m}^2 = 33,8 \text{ m}^2$$

Reemplazando datos en la ecuación 17 se obtiene:

$$A_L = 1,4 \times 33,8 \text{ m}^2 = 47,3 \text{ m}^2$$

### 6.1.1.7 Producción de energía eléctrica estimada ( $E_{AC}$ )

Se determina empleando la siguiente relación:

$$E_{AC} = P_{GFV,STC} \cdot [(H_{da}(\alpha, \beta) / G_{STC}) \cdot 365] \cdot PR \quad (18)$$

Donde:

$E_{AC}$  : Energía eléctrica generada anualmente (kWh).

$P_{GFV,STC}$  : Potencia nominal del generador fotovoltaico en condiciones estándar en el punto de máxima potencia (kW<sub>p</sub>).

$H_{da}(\alpha, \beta)$  : Valor medio anual de la irradiación diaria sobre la superficie del generador fotovoltaico (Wh/m<sup>2</sup>).

$G_{STC}$  : Irradiancia en condiciones estándar (1000 W/m<sup>2</sup>).

$PR$  : Factor de rendimiento anual (0,75).

Reemplazando datos en la ecuación 18 se obtiene:

$$E_{AC} = \frac{4,5 \text{ kW}_p \times 5300 \text{ Wh/m}^2 \times 365 \times 0,75}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$E_{AC} = 6528,94 \text{ kWh}$$

### 6.1.1.8 Productividad final anual ( $Y_F$ )

Expresa la energía generada por el sistema fotovoltaico ( $E_{AC}$ ) por unidad de potencia pico instalada del generador, se determina de la siguiente manera:

$$Y_F = \frac{\text{Energía AC generada (kWh)}}{\text{Potencial nominal del generador (kW}_p\text{)}} \quad (19)$$

Reemplazando datos en la ecuación 19 se obtiene:

$$Y_F = \frac{6528,94 \text{ kWh}}{4,5 \text{ kW}_p}$$

$$Y_F = 1450,88 \text{ kWh/kW}_p$$

### 6.1.1.9 Productividad de referencia anual ( $Y_R$ )

Se calcula como el cociente entre la irradiación solar incidente medida sobre el plano de los módulos respecto a la irradiancia solar en condiciones estándar de medida. Se expresa en (kWh/m<sup>2</sup>)/ (kW/m<sup>2</sup>), se calcula de la siguiente forma:

$$Y_R = H_{da}(\alpha, \beta) / G_{STC} \quad (20)$$

Reemplazando datos en la ecuación 20 se obtiene:

$$Y_R = 5,3 \times 365 (\text{kWh/m}^2) / ((\text{kW/m}^2)) = 1934,50 (\text{kWh/m}^2) / ((\text{kW/m}^2))$$

#### 6.1.1.10 *Coficiente global de rendimiento anual (PR)*

Es un indicador de calidad. Se define como la relación entre la productividad final y la productividad de referencia. Se determina de la siguiente manera:

$$PR = \frac{\text{Productividad Final (Y}_F\text{)}}{\text{Productividad de Referencia (Y}_R\text{)}} \quad (21)$$

Reemplazando datos en la ecuación 21 se obtiene:

$$PR = \frac{1450,88 \left( \frac{\text{kWh}}{\text{kW}_P} \right)}{1934,50 (\text{kWh/m}^2) / (\text{kW/m}^2)} = 0,75$$

#### 6.1.1.11 *Costo energético nivelado (LCOE)*

Es el valor neto actual del costo unitario de la electricidad durante la vida útil de la tecnología a implementar (planta fotovoltaica). Se requiere conocer dos variables:

- Costo total del sistema (financiamiento + mantenimiento).
- ¿Cuánta energía producirá la planta fotovoltaica durante el período útil?

Su cálculo viene dado por la siguiente relación:

$$LCOE = \frac{\text{Costo total vida útil}}{\text{Generación total de energía}} = \frac{(\text{Costo fijo anual} + \text{costos variables anual})}{\text{Generación total de energía}} \left( \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right) \quad (22)$$

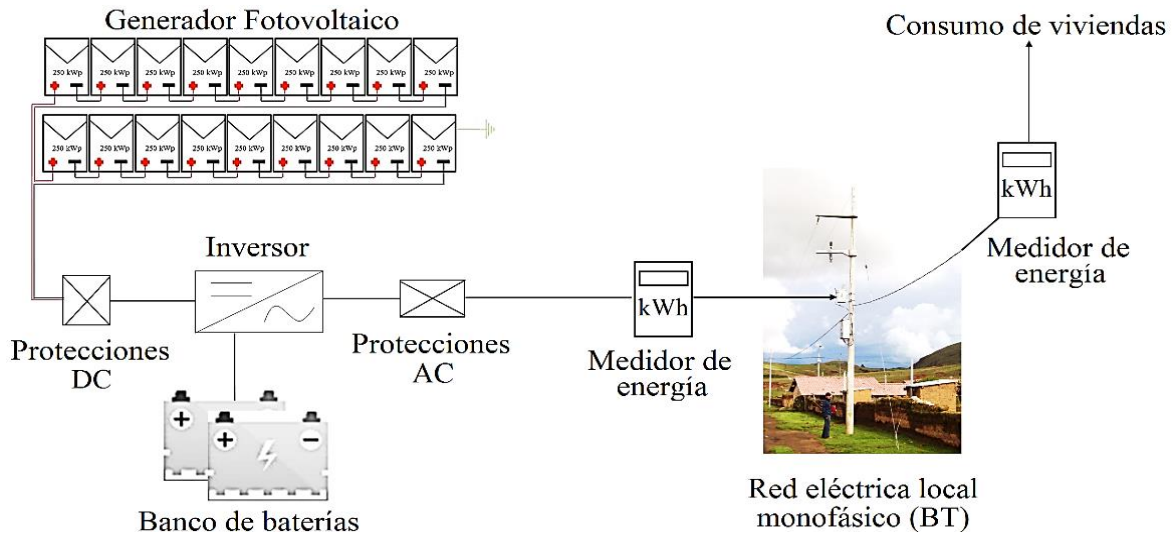
Para la planta fotovoltaica se cuenta con la siguiente información técnica:

Costo total de la planta fotovoltaica:	USD 24010,00
O&M por año:	USD 48,00
Tiempo de vida útil proyectado:	30 años
Producción de energía eléctrica anual:	6528,94 kWh
Producción de energía eléctrica por 30 años:	195 868,2 kWh
O&M por 30 años:	USD 1440,00

Reemplazando datos en la ecuación 22 se obtiene:

$$LCOE = \frac{(24\ 010 + 1440)}{195\ 868,2} = \frac{25\ 450}{195\ 868,2} = 0,130 \left( \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right)$$

La figura 52 muestra el esquema de instalación de la planta fotovoltaica de 4,5 kW<sub>p</sub>, con capacidad de almacenamiento propuesta para la comunidad San Francisco de Raymina.



**Figura 52.** Esquema de instalación de la planta fotovoltaica en la localidad.

El mantenimiento para la planta fotovoltaica es de carácter preventivo y correctivo. Consiste en la limpieza periódica de los componentes para garantizar su buen funcionamiento. No requiere cambios de componentes. La frecuencia prevista es trimestral y tiene un costo estimado de USD 48,0 por año (incluye: personal + materiales de limpieza).

A partir de los resultados, se presenta una comparativa de costos de inversión entre 2 sistemas para suministrar energía eléctrica a la localidad. La tabla 35 muestra los costos de inversión para la red convencional y la planta fotovoltaica.

**Tabla 35.** Inversión estimada para la electrificación de viviendas en la localidad.

Sistema de suministro de energía	Costo total USD	Costo (O&M)/anual USD
Red convencional actual	25 260,0	1010,4
Planta fotovoltaica de 4,5 kW <sub>p</sub> , conectado a la red local, con capacidad de almacenamiento	24 010,0	48,0

La planta fotovoltaica propuesta es una alternativa tecnológica limpia y viable, que tiene por finalidad dar solución al problema de déficit de energía eléctrica que presenta la localidad, a fin de contribuir y promover el desarrollo de actividades productivas de manera sustentable. En la Tabla 36 se resume las características principales de la planta fotovoltaica propuesta.

**Tabla 36.** Características de la planta fotovoltaica.

Característica	Valor	Unidad
Potencia del generador fotovoltaica	4,5	kW <sub>p</sub>
Potencia del inversor	5,0	kW
Banco de baterías	19,6	kWh
Producción anual de energía estimado	6528,94	kWh
Productividad final anual (Y <sub>F</sub> )	1450,88	kWh/kW <sub>p</sub>
Productividad de referencia anual (Y <sub>R</sub> )	1934,50	horas
Coefficiente global de rendimiento anual (PR)	0,75	
Costo energético nivelado	0,130	USD/kWh
Tiempo de vida útil estimada de la planta fotovoltaica	30	años

## 6.2 USO DE TERMAS SOLARES

Son tecnologías limpias, maduras y viables. Para el calentamiento de agua y otros usos diarios en la comunidad, se promueve el uso de termas solares de tubo al vacío de 90 litros. Esta tecnología funciona de manera eficiente en las zonas rurales altoandinas. En la tabla 37 se presenta el presupuesto económico para la implementación en la localidad.

**Tabla 37.** Presupuesto económico para la implementación de termas solares en viviendas.

Item	Descripción	Especificaciones técnicas	Cant.	Precio Unit. USD	Importe USD
1	Terma solar de tubos al vacío	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanque Térmico: 90 litros, baja presión, fabricado en acero inoxidable.</li> <li>- Colector Solar: 09 tubos de vidrio al vacío de 58 mm de diámetro y 1,80 m. de largo, material del tubo boro silicato, bañado internamente con una superficie refractiva de triple capa de nitrato de plata.</li> <li>- Tanque quiebra presión de 5 litros</li> <li>- Kit de Instalación</li> </ul>	1	376	376
2	Transporte y mano de obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabajo de instalación</li> </ul>	1	747	747
<i>Costo total por vivienda</i>					1123,0

Tipo de cambio: USD 1,0 = S /3,50

Costo de O&M (anual) = USD 10,0 por vivienda (se debe realizar 4 veces al año).



En la comunidad de Raymina, las familias usan leña como energético para el calentamiento de agua. Asimismo, la mayoría utiliza la cocina tradicional de tres piedras, estas son ineficientes y contaminan el entorno donde se encuentran. Las termas solares son tecnologías maduras limpias y confiables.

### 6.3 IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTORES TUBULARES

Según las estimaciones de la producción de biogás en la localidad, existe un alto potencial energético, que puede ser aprovechado para la generación de energía. Por lo tanto, se propone fomentar el uso de biodigestores tubulares con una capacidad de 1 m<sup>3</sup>. La tabla 38 presenta el presupuesto económico para la implementación en la localidad.

**Tabla 38.** Presupuesto económico para la implementación de biodigestores tubulares.

Item	Cantidad	Precio Unit. USD	Importe USD
Biodigestor en membrana PVC, de fabricación industrial, con kit de reparación: largo 6,7 metros, diámetro 1,27 metros.	1	335	335
Materiales y accesorios	1	175	175
Mano de obra	1	110	110
Otros	1	100	100
<i>Costo total por vivienda</i>			720,0

Tipo de cambio: USD 1,0 = S /3,50

Costo de O&M (anual) = US \$ 40,0 por vivienda (se debe realizar 2 veces al año).

### 6.4 APLICACIÓN DE TÉCNICAS BIOCLIMÁTICAS PARA LA CALEFACCIÓN DE VIVIENDAS RESIDENCIALES

Existen diversas técnicas bioclimáticas desarrolladas para zonas altoandinas y probadas por el CER-UNI. Se promueven las siguientes tecnologías para mejorar las condiciones de bienestar térmico en las viviendas de la comunidad:

- Invernaderos adosados a las paredes de los dormitorios, con doble propósito: proporcionar calefacción dentro de las habitaciones y producir diversos frutos, hortalizas y legumbres. En la tabla 39 se presenta el presupuesto económico para la implementación en la localidad.
- Implementación de claraboyas en techos, para calentar los diferentes ambientes de la vivienda y mejorar la iluminación natural del interior aprovechando la energía solar. La tabla 40 presenta el presupuesto económico para la implementación.

- Techos con aislamiento térmico a base de la lana de oveja, es otra técnica sustentable y económica que permite utilizar un recurso local como aislante ecológico para calefacción de viviendas. En la tabla 41 se presenta el presupuesto económico para la implementación en la localidad.

**Tabla 39.** Presupuesto económico para la implementación de invernaderos en viviendas.

Descripción	Cantidad	Precio Unit. USD	Importe USD
Listones madera de eucalipto	18	4,5	81,0
Plástico polietileno anti UV de 0,008"	1	18,6	18,6
Materiales de ferretería	1	6,4	6,4
Mano de obra (pobladores de la comunidad)	3	20,0	60,0
Otro	1	58,0	58,0
<i>Costo total por vivienda</i>			224,0

Tipo de cambio: USD 1,0 = S /3,50

**Tabla 40.** Presupuesto económico para la implementación de claraboyas en techos.

Descripción	Cantidad	Precio Unit. USD	Importe USD
Plancha Alveolar Policarbonato Clear 6 mm 5,80 x 1,05 m Polyarq	1	77,6	77,60
Materiales	1	44,4	44,40
Mano de obra (pobladores de la comunidad)	2	12,0	24,00
<i>Costo total por vivienda</i>			146,0

Tipo de cambio: USD 1,0 = S /3,50

**Tabla 41.** Presupuesto económico para la implementación de techos con aislamiento térmico a base de la lana de oveja.

Descripción	Cantidad	Precio Unit. USD	Importe USD
Colchonetas de lana de oveja 1,10 m x 0,80 m x 0,05 m.	40	4,6	184,0
Materiales de ferretería	1	363,0	363,0
Mano de obra (pobladores de la comunidad)	3	32,0	96,0
Transporte	1	45,0	45,0
Otro	1	40,0	40,0
<i>Costo total por vivienda</i>			728,0

Tipo de cambio: USD 1,0 = S /3,50

(Elaborado sobre la información provista por el CER-UNI, 2017)

## **6.5 PROMOVER EL USO DE COCINAS ECOEFICIENTES**

Se promueve el uso cocinas con sistema de microgasificación. Es una alternativa técnicamente viable, eficiente y ecológica. (González & Salvador, 2019). Esta tecnología presenta un mejor desempeño en el campo a comparación de las cocinas tradicionales a leña. La cocina tradicional de tres piedras consume en promedio 40,0 % más leña. La propuesta tecnológica debido a su diseño, presenta mayor concentración de calor en la cámara de combustión, menor consumo de leña y menor tiempo de cocción (Ver Anexos). La cocina fue evaluada en laboratorio y en la comunidad de Raymina. La cocina ecoeficiente tiene un costo de USD 110 por unidad.

## VII. CONCLUSIONES

- Se identificaron las necesidades energéticas de la comunidad San Francisco de Raymina: La comunidad no cuenta con suficiente energía eléctrica para el desarrollo de actividades productivas, en promedio las familias consumen 150 kWh al año. Asimismo, la población depende de la biomasa natural (leña) para la cocción de alimentos, calentamiento del agua y calefacción de sus viviendas.
- La variedad de fuentes de recursos energéticos renovables disponibles en la comunidad permite una diversidad de oportunidades para el desarrollo sustentable de la localidad. La energía solar se puede utilizar para generar energía eléctrica o térmica. La energía eólica se puede utilizar para generar energía eléctrica mediante el uso de sistemas eólicos de baja potencia. Los residuos sólidos orgánicos, disponibles del ganado vacuno y ovino, se pueden utilizar para la producción de biogás. El potencial hídrico del arroyo que transcurre por la comunidad solo se puede utilizar en la temporada de lluvias.
- En cuanto a las tecnologías implementadas con energía limpia y renovable en la comunidad, las tecnologías más aceptadas y exitosas han sido las implementadas individualmente en las viviendas como: invernaderos familiares, cocinas mejoradas y techos con aislamiento térmico. Estas tecnologías fueron implementadas hace más de 3 años y continúan funcionando. Por otro lado, el albergue comunal bioclimático se destaca entre las tecnologías comunales implementadas para uso productivo. Se implementó hace más de 10 años, sigue en funcionamiento y ha sido ampliamente aceptada por la población con resultados exitosos.
- La participación activa de la población en la O&M de las tecnologías es fundamental para dar mayor sustentabilidad en el tiempo a este tipo de propuestas, a fin de lograr de manera satisfactoria la adaptación y apropiación de las mismas.
- Esta tesis plantea propuestas tecnológicas técnicamente viables para solucionar el problema de déficit de energía que presenta la comunidad de Raymina. En suma, representan una alternativa potencialmente interesante, que podía ser aplicada en localidades en donde no es previsible, a corto o mediano plazo, la energización rural.
- Finalmente, sobre la base de los resultados presentados en esta investigación, a partir de la experiencia desarrollada en la comunidad San Francisco de Raymina, se concluye que es posible lograr la sustentabilidad energética de los sectores rurales altoandinos del Perú aprovechando los recursos energéticos renovables.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Naciones Unidas, “Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2018”, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (DESA), Nueva York, USA, Informe Técnico, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2018-ES.pdf>
- [2] W. Suárez, “El Reto de Energizar Zonas Rurales Aisladas”, *Semana Sostenible*, 2016. <https://sostenibilidad.semana.com/opinion/articulo/el-reto-de-energizar-zonas-rurales-aisladas/35443>. (consultado ago. 02, 2018).
- [3] B. Van Campen, D. Guidi, y G. Best, “Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles”, FAO, Roma, Documento de Trabajo sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales 3, 2000. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/uploads/media/Solar%20photovoltaic%20for%20SARD%20ES.pdf>
- [4] INEI, “Informe Técnico : Evolución de la pobreza monetaria 2008-2019”, Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima-Perú, Informe Técnico, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://www.inei.gov.pe/media/cifras\\_de\\_pobreza/informe\\_pobreza2019.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/cifras_de_pobreza/informe_pobreza2019.pdf)
- [5] R. Ladino P., “La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso: Vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare”, Tesis para optar al título de Maestría en Desarrollo Rural, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá-Colombia, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1085>.
- [6] USMP, “Energías Renovables: El Desarrollo de la Energía Eólica en el Perú”. Centro de Estudios de Responsabilidad Social y Desarrollo Sostenible, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/2391>
- [7] Diario el Comercio, “Lucha contra la pobreza”, *EL COMERCIO*, 2010. [https://archivo.elcomercio.pe/economia/peru/poco-probable-que-se-logre-reducir-pobreza-rural-45\\_1-noticia-499439?ref=flujo\\_tags\\_62534&ft=nota\\_7&e=titulo](https://archivo.elcomercio.pe/economia/peru/poco-probable-que-se-logre-reducir-pobreza-rural-45_1-noticia-499439?ref=flujo_tags_62534&ft=nota_7&e=titulo)
- [8] Á. Verástegui, “Iluminación para viviendas rurales lejanas y dispersas ‘Sistemas Pico FV La alternativa para tener luz (y más) en el hogar’”, *AMARAY*, vol. 2, p. 27, 2012.
- [9] IEA, “Energy Access Outlook 2017 : From Poverty to Prosperity”, IEA, Paris-Francia, 2017. [En línea]. Disponible en: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2017SpecialReport\\_EnergyAccessOutlook.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2017SpecialReport_EnergyAccessOutlook.pdf)
- [10] INEI, “Perú : Sistema de Monitoreo y Seguimiento de los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)”, *Informativo*, 2019. <http://ods.inei.gov.pe/ods/objetivos-de-desarrollo-sostenible/energia-asequible-y-no-contaminante>
- [11] EnDev/GIZ, “Por un Perú sin Humo: Campaña Nacional Medio Millón de Cocinas Mejoradas”. 2011. [En línea]. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/2782.pdf>
- [12] R. Espinoza, J. Molina C., y J. Molina F., “Aporte Tecnológico de la UNI a la Ingeniería Bioclimática”. 2018. [En línea]. Disponible en: [http://www.congresov.org.pe/conferencias\\_y\\_trabajos\\_tecnicos/Congreso%20Quinquenal%202018/4.%20Mesa%20de%20Trabajos%20Tecnicos/4.3%20Trabajos%20T%C3%A9cnicos/quinquenal%20tn-43.pdf](http://www.congresov.org.pe/conferencias_y_trabajos_tecnicos/Congreso%20Quinquenal%202018/4.%20Mesa%20de%20Trabajos%20Tecnicos/4.3%20Trabajos%20T%C3%A9cnicos/quinquenal%20tn-43.pdf)

- [13] M. Schäfer, N. Kebir, y K. Neumann, “Research needs for meeting the challenge of decentralized energy supply in developing countries”, *Energy Sustain. Dev.*, vol. 15, núm. 3, pp. 324–329, 2011, doi: 10.1016/j.esd.2011.07.001.
- [14] R. Escobar, D. Vilar, E. Velo, L. Ferrer M., y B. Domenech, “Promoting and Improving Renewable Energy Projects Through Local Capacity Development”, *Model. Optim. Renew. Energy Syst.*, p. 25, 2012.
- [15] S. Garrido, A. Lalouf, y A. Moreira, “Tecnologías para la Inclusión Social y Dinámicas Desarrollo Sustentable. Análisis Socio-Técnico de Experiencias de Desarrollo Local Basadas en el Aprovechamiento de Energías Renovables”, *Astrolabio Nueva Época Rev. Digit. Cent. Investig. Estud. Sobre Cult. Soc.*, núm. 12, pp. 73–105, 2014.
- [16] R. E. Mitma, “Análisis de la Regulación de Energías Renovables en el Perú”, *Derecho Soc.*, núm. 45, pp. 167–176, 2015.
- [17] M. Horn, “Aprovechamiento descentralizado de fuentes renovables de energía”. Fundación Friedrich Ebert, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Aprovechamiento%20descentralizado.pdf>
- [18] R. Escobar, P. Gamio, A. I. Moreno, A. Castro, V. Cordero, y U. Vásquez, “Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible: Propuestas para alcanzar el acceso universal a la energía en el Perú”, *Pontif. Univ. Católica Perú PUCP*, p. 68, 2016.
- [19] S. Belmonte, J. Franco, J. Viramonte, y V. Núñez, “Integración de las energías renovables en procesos de ordenamiento territorial”, *Av. En Energ. Renov. Medio Ambiente*, vol. 13, pp. 07–41, 2009.
- [20] M. Schmukler, “Electrificación rural en Argentina: Alcances y limitaciones del Programa de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER) en la provincia de Jujuy”, Tesis de Maestría con Mención en Ciencia, Tecnología y Sociedad, Universidad Nacional de Quilmes, Jujuy-Argentina, 2018. [En línea]. Disponible en: [https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/893/TM\\_2018\\_schmukler\\_006.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/893/TM_2018_schmukler_006.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [21] González T. y Murgas J., “Energización una Alternativa para el Desarrollo Productivo en Comunidades Vulnerables Ubicadas en ZNI – Caso la Guajira”, *COCIER*, p. 9, 2017.
- [22] M. Espósito y V. Gómez, “Construyendo una Escuela Sustentable. Cómo innovar desde los cimientos”, p. 2, 2016.
- [23] OMEP, “Premio a la Educación para un Desarrollo Sustentable (EDS) Corea 2016. Proyecto: Una Escuela Sustentable.”, OMEP, Uruguay, Uruguay, Informe de Divulgación, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.omep.org.uy/wp-content/uploads/2015/06/OMEP-URUGUAY-EDS.pdf>
- [24] M. Fernández, “Implementación de nuevas tecnologías solares para zonas rurales aisladas: apoyando su adopción en la región de LAC”. Energética, 2015. Consultado: ago. 27, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.energetica.org.bo/energetica/publicacionesd.asp?d=240>
- [25] R. Hernández y K. Ubilla, “Proyectos de energización con fuentes de energías renovables en comunidades rurales chilenas como facilitadores del desarrollo local”, Chile, 2013, p. 13. [En línea]. Disponible en: [http://www.riedesarrollo.org/memorias/2013/mesas/mesa7/7.II.1%20Roberto\\_Proyectos%20de%20energizacion%20con%20fuentes%20de%20energias%20renovables.pdf](http://www.riedesarrollo.org/memorias/2013/mesas/mesa7/7.II.1%20Roberto_Proyectos%20de%20energizacion%20con%20fuentes%20de%20energias%20renovables.pdf)
- [26] N. Esteve G., “Energización de las zonas no interconectadas a partir de las Energías Renovables solar y eólica”, Trabajo de Grado para Optar el Título de Magíster en

- Gestión Ambiental, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis121.pdf>
- [27] R. Righini, A. Roldán, C. Raichijk, H. G. Gallegos, y N. Schiavi, “Energización Sustentable en Comunidades Rurales Aisladas del Delta del río Paraná con fines productivos”, en *II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES - Florianópolis*, Brasil, 2008, p. 6. [En línea]. Disponible en: [http://www.gersol.unlu.edu.ar/trabajos/8201\\_08.pdf](http://www.gersol.unlu.edu.ar/trabajos/8201_08.pdf).
- [28] OEA, “Energización Sustentable en Comunidades Rurales Aisladas con Fines Productivos, 2004 - 2008”, OEA, FEMCIDI, Paraguay, Informe de Evaluación, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/37474332-Informe-de-evaluacion-paraguay.html>
- [29] D. Ley, H. Martínez, E. Lara, R. Foster, L. Estrada, y M. Gómez, “Energías renovables en Nicaragua: Proyecto de electrificación rural en zonas aisladas”, Zacatecas, México, oct. 2007, p. 7. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/238113436\\_ENERGIAS\\_RENOVABLES\\_EN\\_NICARAGUA\\_PROYECTO\\_DE\\_ELECTRIFICACION\\_RURAL\\_EN\\_ZONAS\\_AISLADAS](https://www.researchgate.net/publication/238113436_ENERGIAS_RENOVABLES_EN_NICARAGUA_PROYECTO_DE_ELECTRIFICACION_RURAL_EN_ZONAS_AISLADAS)
- [30] F. Pinto, “Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán”, *Cuad. Desarro. Rural*, vol. 53, p. 30, ene. 2004.
- [31] H. Grossi *et al.*, “Energización de Centros Comunitarios Rurales”, p. 3, 2004.
- [32] S. Rocha del Real, “Proyecto de electrificación de comunidades rurales por medio de fuentes alternas de energía”, Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Potencia, Universidad Autónoma de Nueva León, Ciudad Universitaria, Monterrey-México, 2003. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/1454/1/1020149207.PDF>
- [33] T. Ali, I. Z. Arnab, y O. F. Muhammad, “An Overview of Rural Electrification in Bangladesh”, *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 3, p. 5, 2012.
- [34] A. Sánchez, D. Martínez, R. Santos, J. Ortega, y P. Sánchez, *Aplicaciones fotovoltaicas de la Energía Solar*, 1ra edición. México D.F. : IER UNAM, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.fordecyt.ier.unam.mx/pdf/pdfFotoVoltaico.pdf>
- [35] O. Montufar, “Acciones de SAGARPA con Energía Renovable en el Campo Mexicano”, México, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/3287205-Acciones-de-la-sagarpa-con-energia-renovable-en-el-campo-mexicano.html>
- [36] Practical Action, “PPEO 2018 Caso Perú: Proyecto de Mejoramiento de Electrificación Rural Mediante fondos concursables (FONER)”, Lima, Perú, 2019, p. 10. [En línea]. Disponible en: <https://www.solucionespracticas.org.pe/eventoenergiarural>
- [37] CER-UNI, “Transferencia tecnológica para enfrentar eventos climáticos extremos transformando una comunidad rural altoandina en un sistema productivo sustentable con energías renovables en la comunidad San Francisco de Raymina”, Hancayo, 2016, p. 27. [En línea]. Disponible en: <http://xxiiispes.perusolar.org/wp-content/uploads/2016/10/1-Ponencia-N-44-Viernes-307.pdf>
- [38] AEA, “Soluciones Energéticas”. 2016. Consultado: jul. 15, 2019. [En línea]. Disponible en: [http://energiayambienteandina.net/fichaPeru\\_7.html](http://energiayambienteandina.net/fichaPeru_7.html)
- [39] P. Gamio, “Energías Renovables y Cambio Climático : 7 proyectos demostrativos de un desarrollo sustentable”. Konrad Adenauer Stiftung e.V, 2014. [En línea]. Disponible en: [https://www.kas.de/c/document\\_library/get\\_file?uuid=03374ddd-](https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=03374ddd-)

- 9aa9-c8bf-ec29-72757839c10c&groupId=252038
- [40] J. Chercca R., “Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el poblado rural la Gramita de Casma”, Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en: Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2014. [En línea]. Disponible en: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1694/1/chercca\\_rj.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1694/1/chercca_rj.pdf)
- [41] P. Lillo, L. Ferrer, B. Domenech, y E. Dallo, “Electrificación rural con Energías Renovables en la Comunidad de Alto Perú”, en *Tecnología para el DESARROLLO HUMANO en los Andes. Enfoques, Procesos y Sistemas*, Primera edición., Cajamarca, Perú: Associació Catalana D’Enginyeria Sense Fronteres, 2013, pp. 144–152. Consultado: sep. 16, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/06/Tecnologia-para-el-Desarrollo-Humano-en-los-Andes-ISF-1.pdf>
- [42] Euro-Solar, “Programa Euro-Solar Síntesis Final Energía renovable para el desarrollo sostenible”, Dirección General de Desarrollo y Cooperación de la Comisión Europea - EuropeAid, España, Informe Técnico, 2013. [En línea]. Disponible en: [http://www.iter.es/wp-content/uploads/2016/01/ES\\_EURO-SOLAR\\_brochure\\_web.pdf](http://www.iter.es/wp-content/uploads/2016/01/ES_EURO-SOLAR_brochure_web.pdf)
- [43] ITER, “Programa EURO-SOLAR”, *ITER - Instituto Tecnológico y de Energías Renovables, S.A.*, 2011. <http://www.iter.es/portfolio-items/programa-eurosolar/> (consultado mar. 19, 2019).
- [44] OSINERGMIN, “Congreso Internacional sobre el Acceso Universal a los Servicios Públicos de Energía”, OSINERGMIN, Lima, Perú, Informe Técnico, 2013. [En línea]. Disponible en: [http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/Publico/CongresoInternacional/archivos/resumen\\_final\\_congreso.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/Publico/CongresoInternacional/archivos/resumen_final_congreso.pdf)
- [45] J. Velásquez, “Memoria II Simposio Internacional de Energía Eólica de Pequeña Escala ‘Aportes en el desarrollo energético para América Latina’”. Soluciones Prácticas, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://solucionespracticas.org.pe/Memoria-II-Simposio-Internacional-de-Energia-Eolica-de-Pequeña-Escala>
- [46] D. Tarnawiecki, M. Aréstegui, A. Carrasco, G. Bonfiglio, y R. Escobar, “Usos productivos de la electricidad. Experiencias y lecciones en el área rural peruana”. Soluciones Prácticas, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://solucionespracticas.org.pe/usos-productivos-de-la-electricidad-experiencias-y-lecciones-en-el-area-rural-peruana>
- [47] CER-UNI, “Producción Rural Sostenible en San Francisco de Raymina”, Puno, 2012, p. 34. [En línea]. Disponible en: <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/01/8.pdf>
- [48] R. Espinoza, “Propuesta Técnica de Confort Térmico para localidades ubicadas entre 3000 y 5000 m s.n.m.”, Lima, Perú, 2012, vol. <https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/files/Documentos/centrodeenergiasrenovables.pdf>, p. 37. [En línea]. Disponible en: <https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/files/Documentos/centrodeenergiasrenovables.pdf>
- [49] SENCICO, “Calefactor Solar SENCIGQ: Responsabilidad Social”, *Suplementos Especiales de Construcción & Vivienda*, p. 8, 2009.
- [50] MINEM, “Estudio del Plan Maestro de Electrificación Rural con Energía Renovable en la República del Perú”, Agencia de Cooperación Internacional de Japón, JICA, Lima, Perú, Informe final Resumen Ejecutivo, 2008. [En línea]. Disponible en:



- [http://dger.minem.gob.pe/archivos/PlanMaestro\\_ER\\_Resumen.pdf](http://dger.minem.gob.pe/archivos/PlanMaestro_ER_Resumen.pdf)
- [51] J. Peña C., “Implementación y caracterización de un centro de demostración de energías renovables en Yaurisque provincia de Paruro Cusco - Perú”, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Físico, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 2010. Consultado: sep. 22, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1795>
- [52] D. Muñoz A., “Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país”, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2005. Consultado: sep. 11, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/893>
- [53] CER-UNI, “Modelo de Gestión en la Electrificación Rural con Energía Solar Fotovoltaica en el Perú”, Tegucigalpa, Honduras, 2001, p. 10. [En línea]. Disponible en: [http://fc.uni.edu.pe/mhorn/gestion\\_fv.htm](http://fc.uni.edu.pe/mhorn/gestion_fv.htm)
- [54] A. Martínez y R. Caro, “Fuentes Energéticas”, en *La Nueva Geopolítica de la Energía*, España: Ministerio de Defensa, Instituto Español de Estudios Estratégicos, 2010, pp. 21–34. Consultado: sep. 21, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=548752>
- [55] BUN-CA, “Manuales sobre energía renovable”. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. [En línea]. Disponible en: <http://www.bun-ca.org/areas-de-trabajo/energia-renovable/>
- [56] Soluciones Prácticas, “Panorama Energético de los pobres 2012”. Soluciones Prácticas, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://solucionespracticas.org.pe/panorama-energetico-de-los-pobres-2012>
- [57] J. Schallenberg *et al.*, *Energías renovables y eficiencia energética*, Primera edición. Canarias, España: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
- [58] FAO, “Memoria Seminario Regional sobre los Sistemas Dendroenergéticos Optimizados para el Desarrollo Rural y la Protección Ambiental”. FAO, 1993. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/AD097S/AD097S00.htm>
- [59] G. Valcárcel-Resalts, “Desarrollo rural con enfoque local: Desarrollo sustentable”, en *Agricultura y desarrollo sostenible*, España, 1995, pp. 399–420. Consultado: oct. 04, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=583606>
- [60] A. Ramírez, J. Sánchez, y A. García, “El Desarrollo Sustentable: Interpretación y Análisis.”, *Rev. Cent. Investig. Univ. Salle Dist. Fed. México*, vol. 6, núm. 21, pp. 55–59, 2004.
- [61] R. Grosse, “International Technology Transfer in Services”, *J. Int. Bus. Stud.*, vol. 27, pp. 781–800, dic. 1996, doi: 10.1057/palgrave.jibs.8490153.
- [62] E. Ísmodes, “Estudio sobre modelo de oficinas de transferencia tecnológica en el Perú”, CONCYTEC, Lima-Perú, Informe final 5, 2015. Consultado: jul. 20, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://190.12.69.62/bitstream/20.500.12390/96/3/oficinas-transferencia-tecnologica-peru.pdf>
- [63] SENER, “Recursos renovables para la producción de electricidad en México”. 2014. [En línea]. Disponible en: [http://www.olade.org/realc/docs/doc\\_88276\\_20161219114013.pdf](http://www.olade.org/realc/docs/doc_88276_20161219114013.pdf)
- [64] G. Vignolo, “Recursos Energéticos Renovables: aproximaciones conceptuales y determinación de su necesidad de implementación en el Perú”, *Rev. Derecho Adm.*, vol. 12, núm. 2, p. 10, 2012.

- [65] J. A. Duffie y W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2013. [En línea]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=Q1tjDQAAQBAJ&pg=PR4&lpg=PR4&dq=978-0-470-87366-3&source=bl&ots=ZjfKfodGJH&sig=ACfU3U2AIDUxr4TFIGWQTncZoA\\_I-A5tXA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewjuhpSs3ojlAhUv1lkKHZP4CQUQ6AEWA3oECAkQAQ#v=onepage&q=978-0-470-87366-3&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=Q1tjDQAAQBAJ&pg=PR4&lpg=PR4&dq=978-0-470-87366-3&source=bl&ots=ZjfKfodGJH&sig=ACfU3U2AIDUxr4TFIGWQTncZoA_I-A5tXA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewjuhpSs3ojlAhUv1lkKHZP4CQUQ6AEWA3oECAkQAQ#v=onepage&q=978-0-470-87366-3&f=false)
- [66] BUN-CA, “Manuales sobre Energía Renovable”, *BUN-CA Fundación Red de Energía*, 2002. <http://www.bun-ca.org/areas-de-trabajo/energia-renovable/> (consultado oct. 11, 2019).
- [67] DGER/MINEM, “Documento Promotor del Subsector Electricidad 2012”. Editorial Súper Gráfica E.I.R.L., 2012. [En línea]. Disponible en: [http://www.minem.gob.pe/archivos/Documento\\_Promotor\\_2012.pdf](http://www.minem.gob.pe/archivos/Documento_Promotor_2012.pdf)
- [68] R. Ebentreich, “Eficiencia Energética en el Perú. Avances y Perspectivas”, presentado en Evento Eficiencia Energética en el Perú, Lima, Perú, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia%20energetica/publicaciones/EVENTOS2016/EFICIENCIA%20ENERG%3%89TICA%20EN%20EL%20PERU....pptx>
- [69] Assureira E. D.L.G. y Assureira M., “Biomass Residual Energy Potential in Peru”, en *Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014)*, Guayaquil, Ecuador, 2014, pp. 1–2. [En línea]. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/ExtendedAbstracts/EA012.pdf>
- [70] IRENA, “Perú: Evaluación del Estado de Preparación de las Energías Renovables”, Abu Dhabi, Informe Técnico, 2014. [En línea]. Disponible en: [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Peru%20RRA%202014\\_ES.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Peru%20RRA%202014_ES.pdf)
- [71] MINEM, “Resumen Ejecutivo Plan Energético Nacional 2014-2025”. DGER-MINEM, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2ResEje-2014-2025%20Vf.pdf>
- [72] A. Vásquez, J. Tamayo, y J. (Editores) Salvador, *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*, Primera Edición. Lima-Perú: OSINERGMIN, 2017. [En línea]. Disponible en: [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf)
- [73] UPME, CorpoEma, “Formulación de una Plan de Desarrollo para las Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia (PDFNCE)”, en *Plan de Desarrollo para Las Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia (PDFNCE)*, vol. 1, Bogotá, Colombia, 2010, p. 173. [En línea]. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol\\_1\\_Plan\\_Desarrollo.pdf](http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_1_Plan_Desarrollo.pdf)
- [74] EDEVI, “Curso: Usos de la Energía Eólica para Generar Energía en Bajas Potencias”. 2004. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/27740073/CURSO\\_USOS\\_DE\\_LA\\_ENERG%3%8DA\\_E%3%93LICA\\_PARA\\_GENERAR\\_ENERG%3%8DA\\_EN\\_BAJAS\\_POTENCIAS](https://www.academia.edu/27740073/CURSO_USOS_DE_LA_ENERG%3%8DA_E%3%93LICA_PARA_GENERAR_ENERG%3%8DA_EN_BAJAS_POTENCIAS)
- [75] A. Pinilla, *Manual de aplicación de la energía eólica*. Bogota, Colombia: INEA, 1997. [En línea]. Disponible en:

- <http://www.ingenieroambiental.com/3008/energ%25c3%258da%2520e%25c3%2593lica.pdf>
- [76] A. Oliveros, “Mejora en la gestión de las energías renovables en la micro y pequeña empresa en el Perú (MYPE)”, Tesis de maestría en Gestión y Auditorías Ambientales, Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, Piura, Perú, 2014. Consultado: oct. 10, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1847>
- [77] Soluciones Prácticas, “Ficha técnica N° 8: Biodigestores”. Soluciones Prácticas, 2009. Consultado: oct. 23, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://solucionespracticas.org.pe/ficha-tecnica-n-8-biodigestores>
- [78] CIEMAT, “Análisis de ciclo de vida en Sistemas Energéticos”, presentado en IV Jornada de Ingeniería en Energía Tendencias Tecnológicas en Combustibles, Bucaramanga, Colombia, 2012. [En línea]. Disponible en: [http://rdgroups.ciemat.es/documents/10907/86733/IVconferencia+en+energia\\_IHO\\_2012.pdf/557aac4f-a0d0-4253-9e30-9acde87bda2f](http://rdgroups.ciemat.es/documents/10907/86733/IVconferencia+en+energia_IHO_2012.pdf/557aac4f-a0d0-4253-9e30-9acde87bda2f)
- [79] M. Ibáñez, J. Rosell, y J. Rosell, *Tecnología solar*, Paraninfo S.A. Madrid, España: Mundi-Prensa, 2004.
- [80] A. González, A. Martín, y R. Figueroa, “Tecnologías de Tratamiento y Desinfección de agua para uso y consumo humano”, p. 17, 2000.
- [81] A. Jamar, Z. A. A. Majid, W. H. Azmi, M. Norhafana, y A. A. Razak, “A review of water heating system for solar energy applications”, *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 76, pp. 178–187, ago. 2016, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028.
- [82] IES, “Guía de Normas y Protocolos Técnicos para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Instituto de Energía Solar/Universidad Politécnica de Madrid, 2008. [En línea]. Disponible en: [http://www.energetica.org.bo/electsol/documentos/pdf/Guia\\_normas\\_protocolos.pdf](http://www.energetica.org.bo/electsol/documentos/pdf/Guia_normas_protocolos.pdf)
- [83] R. Tamayo, “Potencial de las Energías Renovables en el Perú”, Lima, Perú, 2011, p. 66. [En línea]. Disponible en: <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/SeminarioIntEFERP/Miercoles%205.10.2011/3.%20Potencial%20de%20Energias%20Renovables%20DGE-%20Roberto%20Tamayo.pdf>
- [84] J. O. Molina, R. E. Espinoza, M. J. Horn, y M. M. Gómez, “Thermal performance evaluation of isolation and two active solar heating systems for an experimental module: A rural Peruvian case at 3700 masl”, *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1173, p. 012003, feb. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1173/1/012003.
- [85] R. Espinoza, “Evaluación experimental de la performance de dos componentes bioclimáticas de calentamiento aplicadas en un módulo de vivienda de San Francisco de Raymina - Ayacucho con el propósito de validarlas como técnicas de estrategias bioclimáticas para viviendas rurales Alto Andinas”, Para obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Energías Renovables y Eficiencia Energética, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 2014. Consultado: nov. 13, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2648>
- [86] DGPI/MEF, “Electrificación Rural - Guía para la formulación de proyectos de inversión exitosos.” Ministerio de Economía y Finanzas, 2011. [En línea]. Disponible en: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/instrumentos\\_metod/energia/Disenio\\_ELECTRIFICACION\\_RURAL\\_corregido.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/energia/Disenio_ELECTRIFICACION_RURAL_corregido.pdf)
- [87] Diario El Peruano, “Proyecto de Resolución de Fijación de los Costos de Conexión Eléctrica 2019-2023”, *Resolución de Consejo Directivo Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería OSINERGMIN N° 078-2019-OS/CD*, Lima-Perú, p.

- 16, 2019.
- [88] J. Molina C., “Evaluación bioclimática de una vivienda rural alto andina de la comunidad de San Francisco de Raymina de Ayacucho”, *Univ. Nac. Ing.*, 2016, Consultado: ago. 26, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/5327>
- [89] Onset, “HOBO Micro Station Data Logger”, 2019. <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/h21-002> (consultado dic. 03, 2019).
- [90] FAO, “Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores”. Food & Agriculture Org., 2019. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=CV2mDwAAQBAJ&pg=PA64&lpg=PA64&dq=ENERG%C3%8DA+EQUIVALENTE+1+m3+de+biog%C3%A1s+equivalente&source=bl&ots=BmBDtLKxvA&sig=ACfU3U2bcnra2XVdMoRXIAIb9Q4SEXotEg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjWutrQoJHnAhXIq1kKHZB0Ch84ChDoATAFegQIChAB#v=onepage&q&f=false>
- [91] DGIAR-MINAGRI, “Manual N° 5 Medición de agua”. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4291>
- [92] APES, “Dimensionado de un SFCR (I) Generador fotovoltaico – Inversor”, *Cursos XXI SPES – PIURA 2014*, 2014. <http://www.perusolar.org/cursos-xxi-spes-piura-2014/> (consultado ago. 28, 2020).
- [93] W. Gonzáles y C. A. Salvador, “Construcción y caracterización de estufa con sistema de microgasificación”, Ayacucho-Perú, 2019, p. 24. [En línea]. Disponible en: <http://www.perusolar.org/simposios/xxvi-simposio-de-energia-solar-ayacucho-2019/>
- [94] Clean Cooking Alliance, “Prueba de Ebullición de Agua (WBT versión 4.2.3)”. 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.cleancookingalliance.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/404-1.pdf>
- [95] Carbonal, “Pack de leña de eucalipto 5 Kg”, *Sodimac Peru*, 2018. /sodimac-pe/product/1074032/pack-de-lena-de-eucalipto-5-kg (consultado dic. 06, 2019).

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>CER-UNI</b>	Centro de Energías Renovables y Usos Racional de la Energía de la UNI.
<b>CONCYTEC</b>	Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.
<b>DGER</b>	Dirección General de Electrificación Rural.
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<b>FINCYT</b>	Fondo para la Innovación, la Ciencia y la Tecnología.
<b>FISE</b>	Fondo de Inclusión Social Energético.
<b>FOSE</b>	Fondo de Compensación Social Eléctrica.
<b>GIZ</b>	Cooperación Alemana al Desarrollo.
<b>GLAERS</b>	Grupo de Trabajo Latinoamericano y del Caribe sobre Energización para un Desarrollo Rural Sostenible.
<b>GLP</b>	Gas Licuado de Petróleo.
<b>IEA</b>	Agencia Internacional de la Energía.
<b>IIUNAM</b>	Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
<b>INEI</b>	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
<b>INICTEL</b>	Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones.
<b>IRENA</b>	Agencia Internacional de las Energías Renovables.
<b>JICA</b>	Agencia de Cooperación Internacional de Japón.
<b>MEV</b>	Módulo Experimental de Vivienda.
<b>MINAGRI</b>	Ministerio de Agricultura y Riego.
<b>MINEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible.
<b>OEA</b>	Organización de los Estados Americanos.
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas.
<b>OSINERGMIN</b>	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
<b>RER</b>	Recurso Energético Renovable.
<b>SCAES</b>	Sistema de Calentamiento de Agua con Energía Solar.
<b>SE</b>	Sistema Eléctrico.
<b>SENCICO</b>	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.
<b>SFV</b>	Sistema Fotovoltaico.
<b>UNI</b>	Universidad Nacional de Ingeniería.
<b>UNMSM</b>	Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
<b>UPCH</b>	Universidad Peruana Cayetano Heredia.
<b>USAID</b>	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

# **ANEXOS**

# ANEXO 1

## RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA COMUNIDAD

### Ficha de encuesta: Diagnóstico energético

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE LA COMUNIDAD RURAL ALTOANDINA**  
**SAN FRANCISCO DE RAYMINA – VILCASHUAMAN – AYACUCHO**

La siguiente encuesta se basa en recolectar información acerca del tipo de energía que utilizan los pobladores de la comunidad rural altoandina San Francisco de Raymina para satisfacer sus necesidades energéticas básicas (iluminación, cocción de alimentos, calentamiento de agua y calefacción). Dicha información es solicitada al jefe(a) de familia en la vivienda.

Nombre y Apellido: ..... Fecha: .....

#### I. NECESIDADES BÁSICAS ENERGÉTICAS

- 1.1. Cuenta con servicios de energía eléctrica : Si tiene  No tiene
- 1.2. Consumo de Energía eléctrica mensual :  kWh Costo mensual por consumo de energía eléctrica \$/
- 1.3. Aparatos electrónicos en la vivienda : Si tiene  No tiene

Aparatos electrónicos que utiliza en su vivienda	Potencia Nominal	Cantidad (unidades)	Frecuencia de uso		Fuente energética que utiliza*	Observaciones
	Watts (W)		(horas/día)	(horas/semana)		
Televisión B/N						
Televisión a color						
Radiograbadora						
Vídeo/DVD						
Equipo de sonido						
Lácuadora						
Plancha eléctrica						
Computadora de escritorio						
Laptop						
Impresora						
Cargador de celular						
Otros (Especifique)						

(\*) 1) Red eléctrica 2) Batería Automotriz 3) Pequeño grupo electrógeno 4) Otros (Especifique): .....

#### 1.4. Artefactos de iluminación en la vivienda :

Artefactos de iluminación que utiliza en su vivienda	Potencia Nominal	Cantidad (unidades)	Frecuencia de uso		Fuente energética que utiliza*	Observaciones
	Watts (W)		(horas/día)	(horas/semana)		
Lámpara incandescente						
Lámpara led						
Lámpara fluorescente compacta LFC						
Vela						
Mechero						
Otro (Especifique)						

(\*) 1) Red eléctrica 2) Batería Automotriz 3) Pequeño grupo electrógeno 4) Otros (Especifique): .....

#### 1.5. Cocción de alimentos :

Cocina que utiliza para la cocción de sus alimentos	Cantidad (unidades)	Frecuencia de uso		Fuente energética que utiliza*	Cantidad de fuente energética que utiliza		Costo mensual (\$/)
		(horas/día)	(horas/semana)		Leña (kg/mes)	Balón de Gas (kg/mes)	
Cocina tres piedras							
Cocina de barro							
Cocina mejorada							
Cocina a gas GLP							
Otro (Especifique)							

(\*) 1) Leña (incluye: ramas secas, tusa de maíz, estiércol o bosta, yareta, etc.) 2) GLP 3) Otros (Especifique): .....

#### 1.6. Calentamiento de agua para diversos usos :

Cocina que utiliza para el calentamiento de agua (higiene personal, lavar ropa, etc.)	Cantidad (unidades)	Frecuencia de uso		Fuente energética que utiliza*	Cantidad de fuente energética que utiliza		Costo mensual (\$/)
		(horas/día)	(horas/semana)		Leña (kg/mes)	Balón de Gas (kg/mes)	
Cocina tres piedras							
Cocina de barro							
Cocina mejorada							
Cocina a gas GLP							
Otro (Especifique)							

(\*) 1) Leña (incluye: ramas secas, tusa de maíz, estiércol o bosta, yareta, etc.) 2) GLP 3) Otros (Especifique): .....

- 1.7. Sistema de calefacción en la vivienda : Si tiene  No tiene
- Tipo de sistema de Calefacción : Muro trombe  Charaboya  Invernadero adosado al dormitorio  Techo aislado modelo CER-UNI
- Otros  Especifique: .....

1.8. Si contare con más energía ¿En qué lo utilizaría?: Uso productivo  Otros (Especifique): .....

1.9. ¿ Que opinión tiene acerca de los proyectos productivos desarrollados en Raymina? .....

## Registro de las encuestas desarrolladas en la localidad

Pobladores Encuestados de San Francisco de Raymúna		Cuenta con servicio de energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica mensual (kWh)	Costo mensual por consumo de energía eléctrica (S/)	Aparatos electrónicos en la vivienda	Artefactos de iluminación en la vivienda	Cocción de alimentos/Tipo de combustible/Consumo de combustible mensual/Costo mensual promedio por energía				Calentamiento de agua para usos diversos/Tipo de combustible/Consumo de combustible mensual/Costo mensual por combustible (higiene personal, lavar ropa, etc.)				Sistema de calefacción en la vivienda/Tipo de sistema de Calefacción		Si contara con más energía ¿En qué lo utilizaría?	¿ Que opinión tiene acerca de los proyectos productivos desarrollados en Raymúna?	
Nº	Nombres	Apellidos	1	2	3	4	5				6				7		8	9	
1	Alejandro	Castro Ramírez	Si	10.0	9.40	Si tiene	Lámpara incandescente	Cocina de barro y gas	Leña y GLP	100 kg leña y 1 balón c/2 meses	49.0	Cocina de barro	Leña	6 kg	2.4	No tiene	No tiene	Actividad productiva	Se requiere personal técnico capacitado para la O&M de las tecnologías
2	Alejandro	Palacios Ramírez	Si	12.0	10.30	Si tiene	LFC	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	90 kg leña y 1 balón c/2 meses	45.0	Fogón	Leña	8 kg	3.2	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	No sabe	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
3	Ana María	Naupas Angulo	No	0.0	0.00	No tiene	Vela	Cocina de barro	Leña	150 kg leña	60.0	Cocina de barro	Leña	7 kg	2.8	No tiene	No tiene	No sabe	Se requiere personal técnico capacitado para la O&M de las tecnologías
4	Angélica	Almeyda de Oré	Si	11.0	9.80	Si tiene	LFC	Cocina de barro y gas	Leña y GLP	80 kg leña y 1 balón c/2 meses	41.0	Cocina de barro	Leña	6 kg	2.4	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
5	Bertha	Rojas Castro	Si	12.0	10.30	Si tiene	Lámpara incandescente	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	80 kg leña y 1 balón c/2 meses	41.0	Fogón	Leña	8 kg	3.2	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
6	Cananeo	Martínez Quispe	Si	13.0	10.70	Si tiene	LFC	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	90 kg leña y 1 balón c/2 meses	45.0	Cocina mejorada	Leña	6 kg	2.4	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	No son las más adecuadas para la comunidad
7	Carmén	Gutiérrez Soca	Si	10.0	9.40	Si tiene	Lámpara incandescente	Cocina mejorada	Leña	130 kg leña	52.0	Fogón	Leña	8 kg	3.2	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	No sabe	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
8	Edgar	Muñoz Quispe	Si	11.0	9.80	Si tiene	LFC	Cocina de barro y gas	Leña y GLP	80 kg leña y 1 balón c/2 meses	41.0	Cocina de barro	Leña	7 kg	2.8	No tiene	No tiene	No sabe	No son las más adecuadas para la comunidad
9	Epiranía	Ramírez Soto	Si	12.0	10.20	Si tiene	Lámpara incandescente	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	90 kg leña y 1 balón c/2 meses	45.0	Fogón	Leña	9 kg	3.6	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Se requiere personal técnico capacitado para la O&M de las tecnologías
10	Hernán	Lisarbe Ilaconza	Si	11.0	9.80	Si tiene	Lámpara incandescente	Cocina de barro y gas	Leña y GLP	80 kg leña y 1 balón c/2 meses	41.0	Cocina de barro	Leña	7 kg	2.8	No tiene	No tiene	Actividad productiva	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
11	Isabel	Palacios Soca	Si	10.0	9.40	Si tiene	LFC	Cocina de barro y gas	Leña y GLP	70 kg leña y 1 balón c/1.5 meses	40.0	Fogón	Leña	8 kg	3.2	No tiene	No tiene	Actividad productiva	Se requiere personal técnico capacitado para la O&M de las tecnologías
12	Jhon	Ramírez Soca	Si	14.0	11.10	Si tiene	Lámpara incandescente	Cocina de barro y gas	Leña y GLP	80 kg leña y 1 balón c/2 meses	41.0	Cocina de barro	Leña	6 kg	2.4	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Se requiere personal técnico capacitado para la O&M de las tecnologías
13	Juana	Palacios Ramírez	Si	10.0	9.40	Si tiene	LFC	Cocina mejorada	Leña	150 kg leña	60.0	Fogón	Leña	10 kg	4.0	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	No sabe	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
14	Luis	Palacios Ramírez	Si	11.0	9.80	Si tiene	Lámpara incandescente	Cocina mejorada	Leña	120 kg leña	48.0	Fogón	Leña	8 kg	3.2	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
15	Marcelino	Guillén Soca	Si	9.0	9.00	Si tiene	LFC	Cocina mejorada	Leña	100 kg leña	40.0	Cocina mejorada	Leña	6 kg	2.4	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	No sabe	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
16	Magarita	Janampa de Mallqui	Si	12.0	10.30	Si tiene	LFC	Gas y fogón	Leña y GLP	60 kg leña y 1 balón de gas c/ mes	42.0	Fogón	Leña	10 kg	4.0	No tiene	No tiene	No sabe	Se requiere personal técnico capacitado para la O&M de las tecnologías
17	Mario	Castro Rojas	Si	14.0	11.10	Si tiene	LFC	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	100 kg leña y 1 balón c/2 meses	49.0	Cocina mejorada	Leña	8 kg	3.2	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
18	Mirleni	Ramírez de Castro	Si	11.0	9.80	Si tiene	LFC	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	150 kg leña	60.0	Fogón	Leña	10 kg	4.0	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
19	Nancy	Damiano Chate	Si	13.0	10.70	Si tiene	LFC	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	120 kg leña y 1 balón c/2 meses	57.0	Fogón	Leña	8 kg	3.2	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	No son las más adecuadas para la comunidad
20	Néstor	Soca Quispe	Si	11.0	9.80	Si tiene	LFC	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	120 kg leña y 1 balón c/1.5 meses	60.0	Fogón	Leña	7 kg	2.8	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	No sabe	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
21	Raúl	Damiano Chate	Si	10.0	9.40	Si tiene	Lámpara incandescente	Cocina mejorada	Leña	100 kg leña	40.0	Fogón	Leña	6 kg	2.4	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Se requiere personal técnico capacitado para la O&M de las tecnologías
22	Ronald	Damiano Gutiérrez	Si	12.0	10.30	Si tiene	LFC	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	80 kg leña y 1 balón c/1.5 meses	44.0	Fogón	Leña	8 kg	3.2	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Se requiere personal técnico capacitado para la O&M de las tecnologías
23	Terefilo	Ramírez Soto	Si	10.0	9.40	Si tiene	LFC	Cocina mejorada y gas	Leña y GLP	80 kg leña y 1 balón c/2 meses	41.0	Cocina mejorada	Leña	6 kg	2.4	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	Actividad productiva	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente
24	Teresa	Soca de Gutiérrez	Si	11.0	9.80	Si tiene	LFC	Cocina mejorada y fogón	Leña	150 kg leña	60.0	Fogón	Leña	8 kg	3.2	Si tiene	Techo aislado CER-UNI	No sabe	Abandonados, se encuentran inoperativos parcial o totalmente



## Recibos de servicio eléctrico: consumo de energía mensual

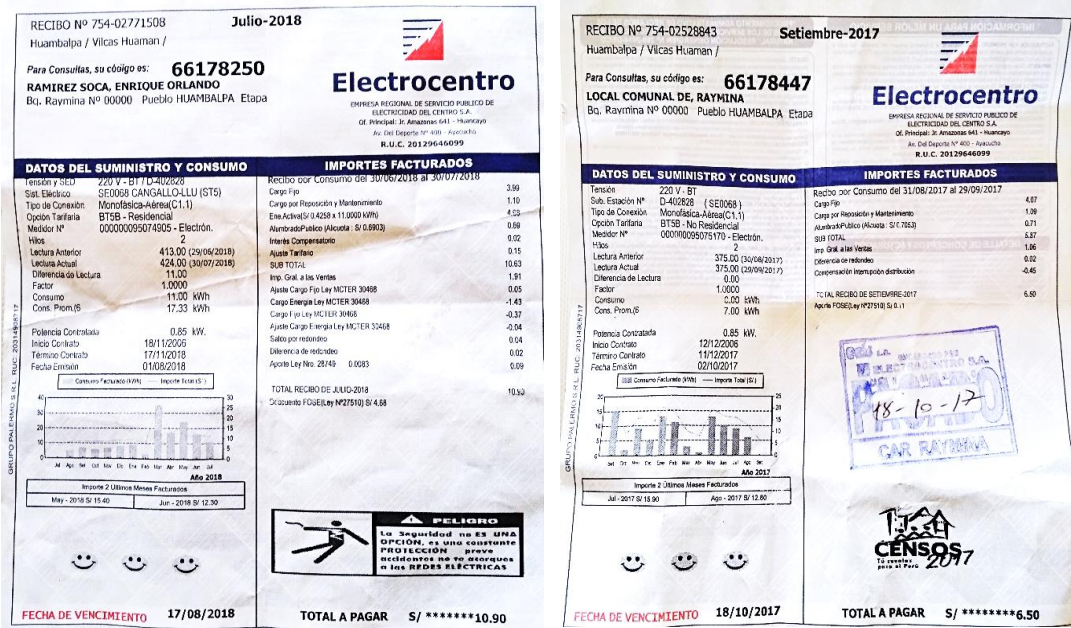


Figura 53. (Izq.) Vista del recibo suministro y consumo del poblador Orlando Soca. (Der.) Vista del recibo suministro y consumo del local comunal de Raymina.

## Tipos de cocinas utilizadas en la comunidad de Raymina



Figura 54. (Izq.) Vista cocina mejorada. (Der.) Vista cocina de barro.



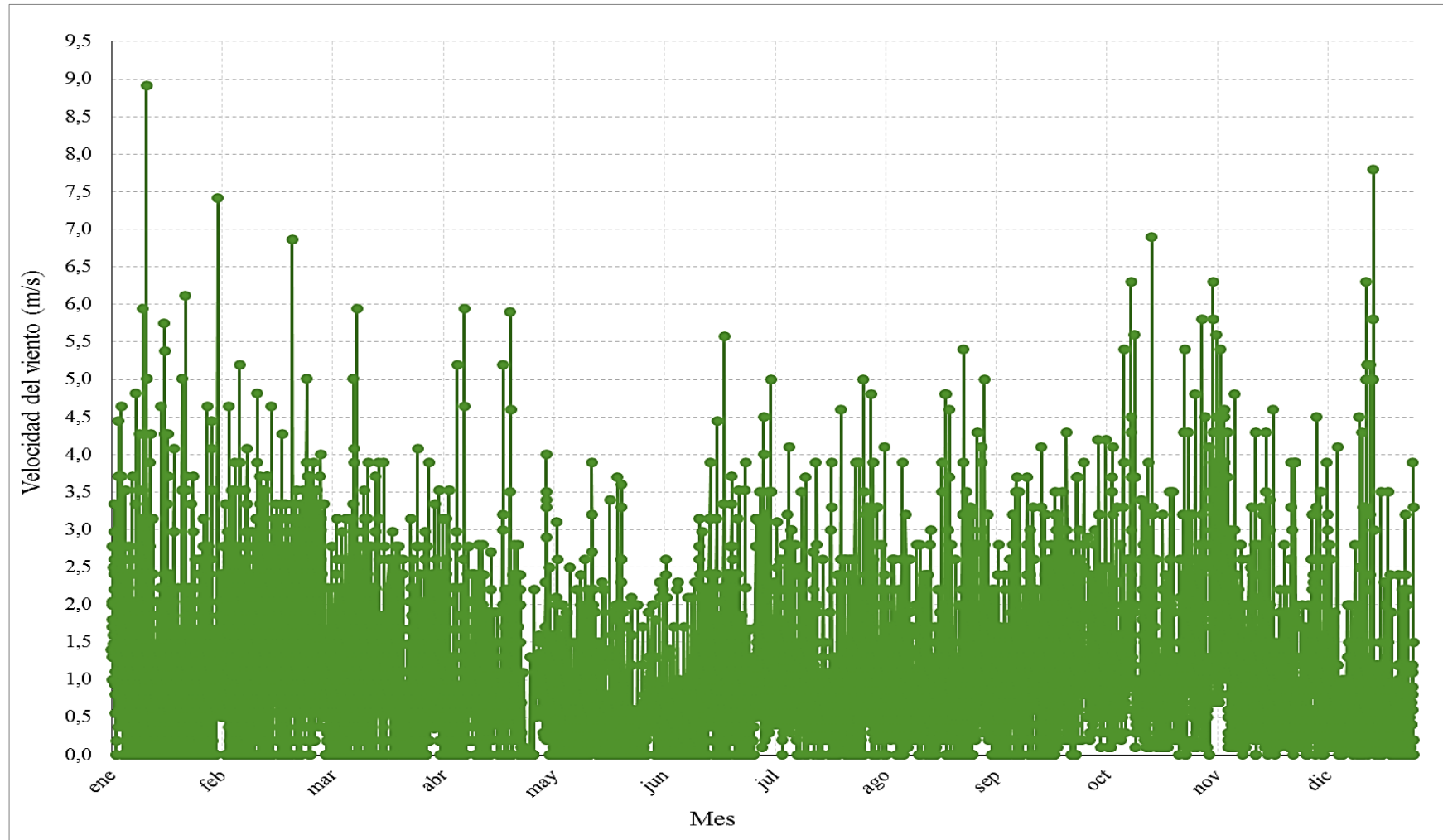
Figura 55. (Izq.) Vista cocina GLP. (Der.) Vista cocinas tradicionales de tres piedras.

Jefes de familia encuestados

RELACIÓN DE COMUNEROS ENCUESTADOS EN LA COMUNIDAD  
SAN FRANCISCO DE RAYMINA, 15 - 20 DE OCTUBRE DE 2018

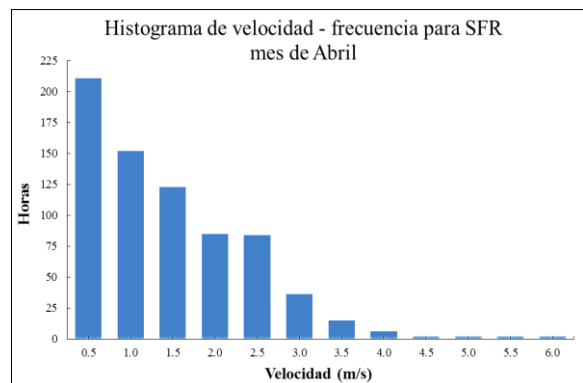
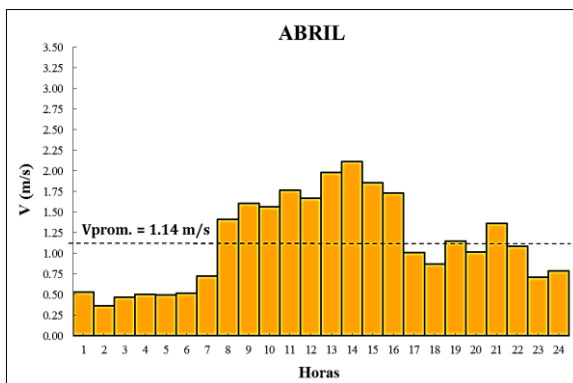
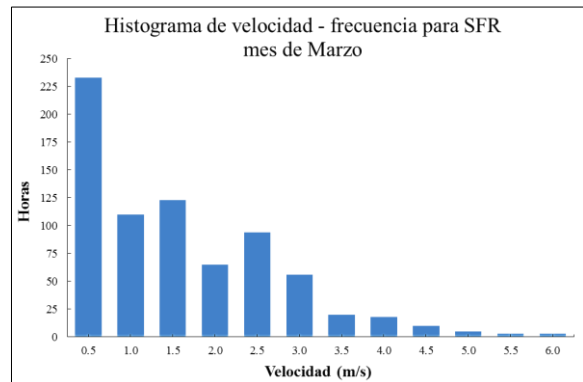
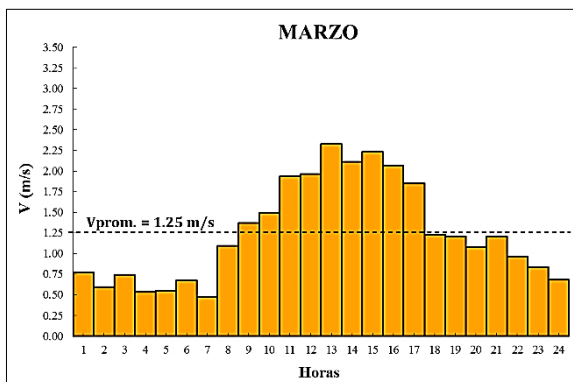
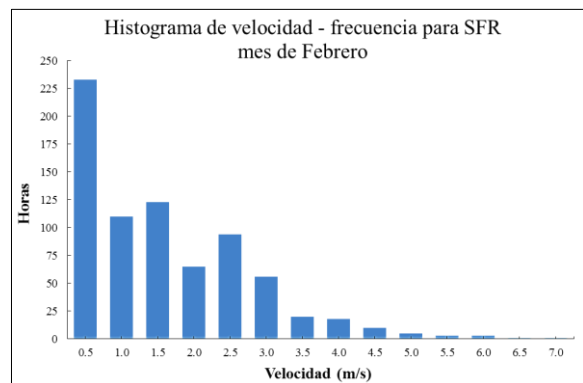
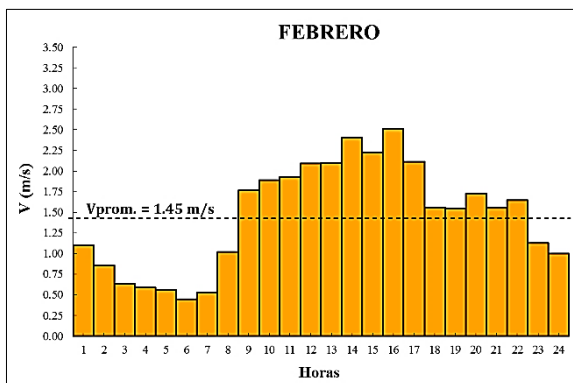
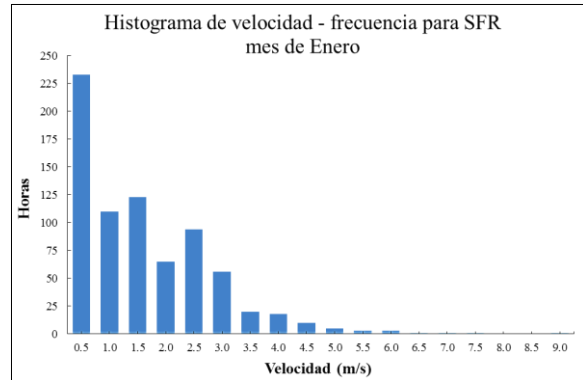
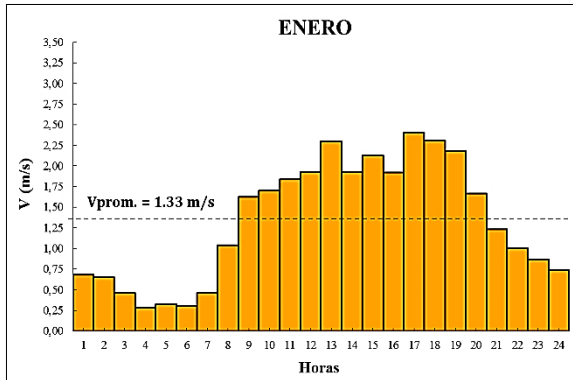
Nº	NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FIRMA
1	Alejandro Castro Ramírez	29160690	
2	Alejandro Palacios Ramírez	28449345	
3	Ana María Ñaupas Angulo	72100604	
4	Angelica Almeida de Ore	28449677	
5	Bertha Selvia Rojas Castro	29168483	
6	Cananeo Martínez Quispe	29160261	
7	Carmen Rosa Gutiérrez Soca	28447215	
8	Edgar Muñoz Quispe	42790187	
9	Epifanía Ramírez Soto	25566721	
10	Hernán Lisarbe Illaconza	47437293	
11	Isabel Palacios Soca	444077332	
12	Jhon Edy Ramírez Soca	70685410	
13	Juana Palacios Ramírez de Lisana	28450395	
14	Luis Palacios Ramírez	29168481	
15	Marcelino Guillén Soca	28449397	
16	Margarita Janampa de Mallqui	28446790	
17	Mario Ulises Castro Rojas	29168433	
18	Marleni Ofilia Ramírez de Castro	29168388	
19	Nancy Damiano Chate	42579634	
20	Néstor Soca Quispe	28449581	
21	Raúl Damiano Chate	29168687	
22	Ronald Damiano Gutiérrez	70443394	
23	Teófilo Ramírez Soto	28467545	
24	Teresa Soca de Gutiérrez	28449030	

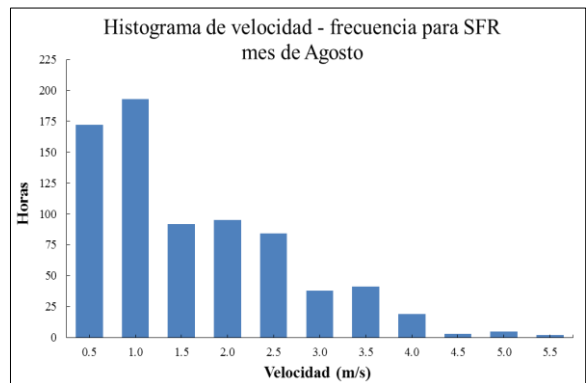
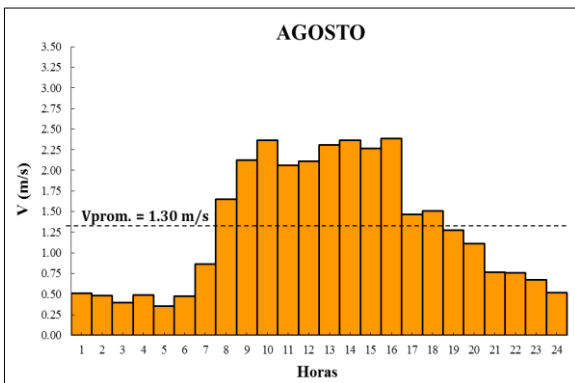
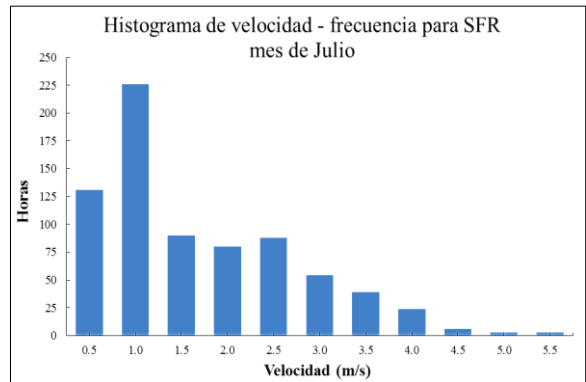
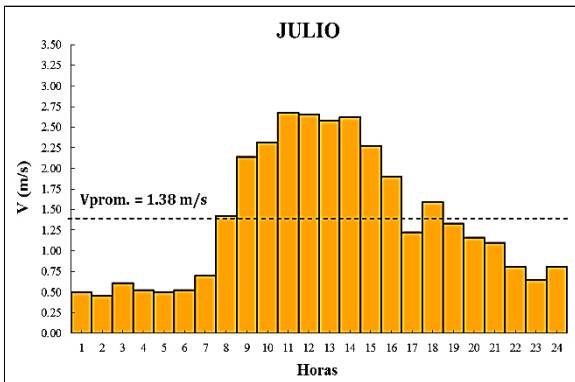
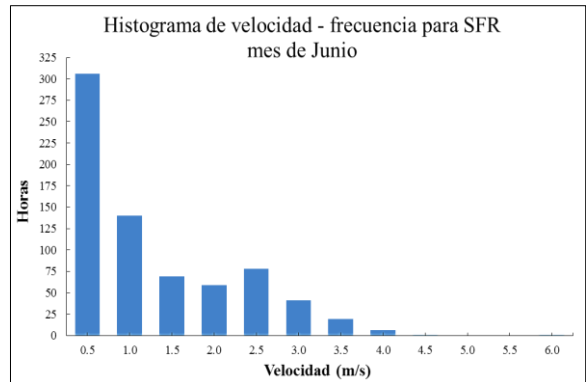
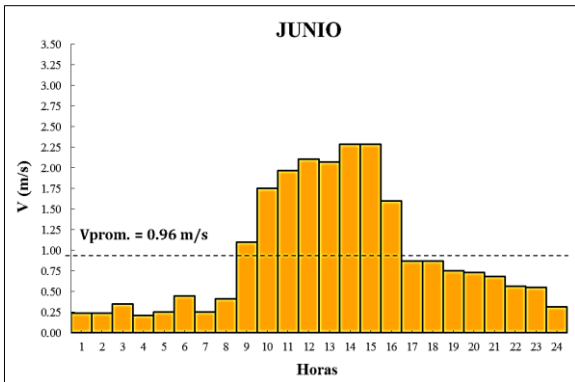
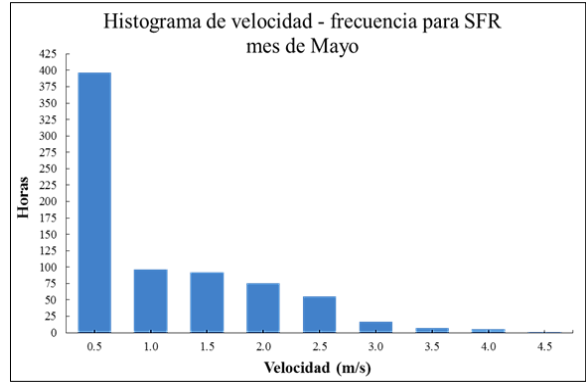
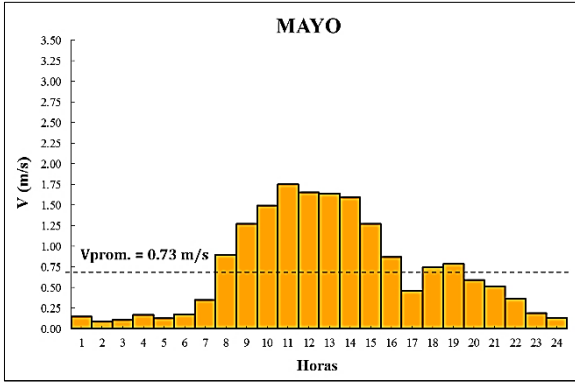
## Estudio del potencial del viento

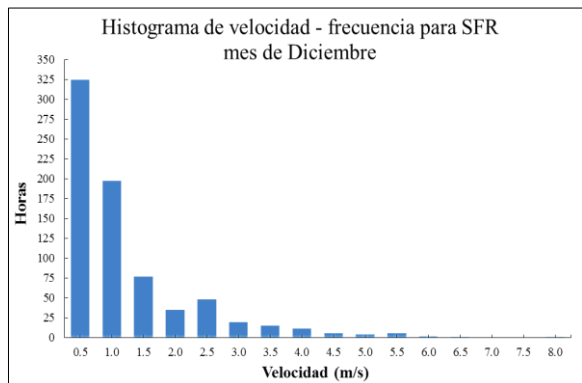
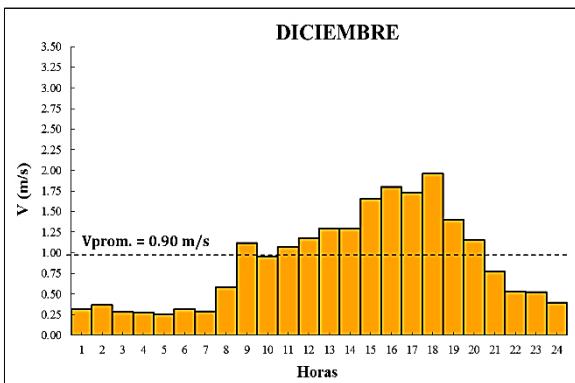
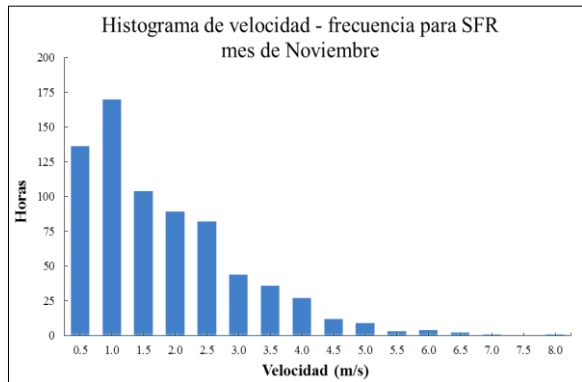
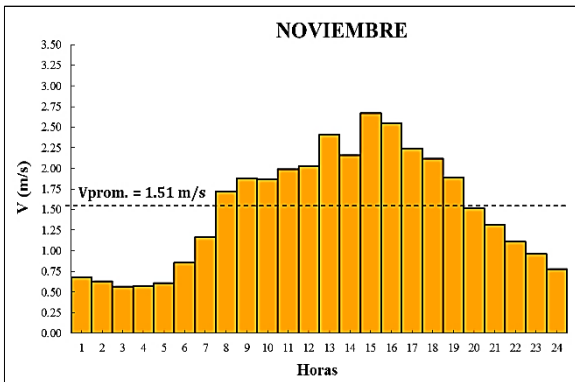
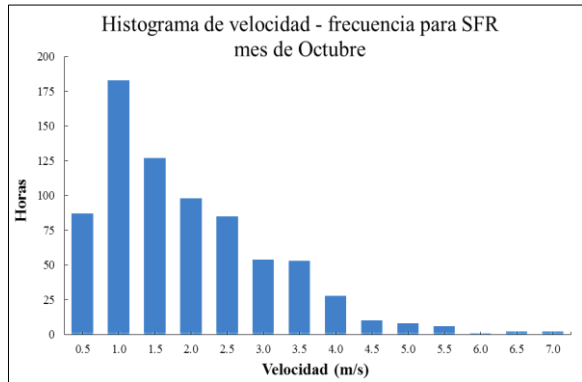
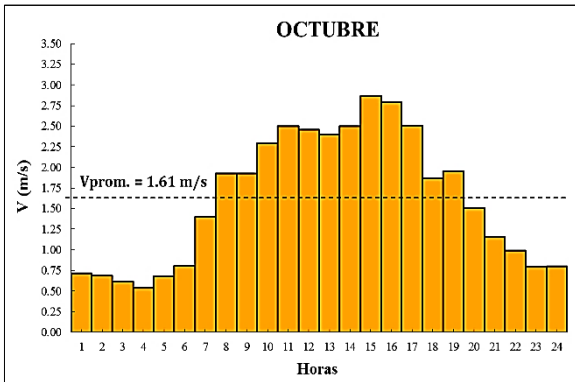
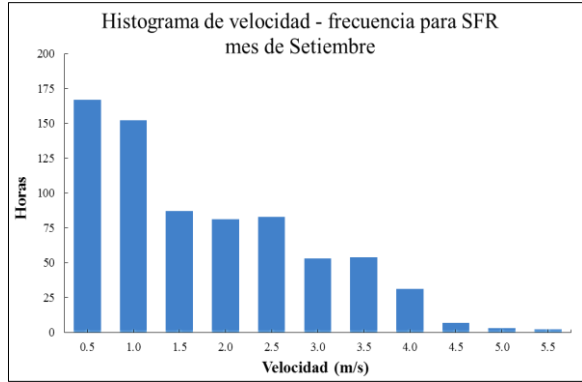
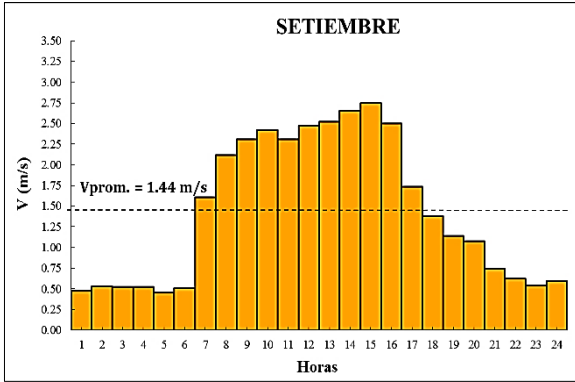


**Figura 56.** Variabilidad de la velocidad del viento en la localidad.

## Gráficos de la velocidad del viento por mes en la localidad

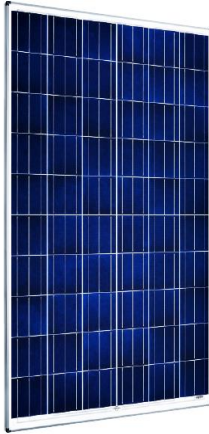






# Especificaciones técnicas de los componentes de la planta fotovoltaica

## Módulo fotovoltaico



### Sunmodule<sup>®</sup> Plus SW 250 - 260 poly



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

		SW 250	SW 255	SW 260
Maximum power	$P_{max}$	250 Wp	255 Wp	260 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	37.6 V	38.0 V	38.4 V
Maximum power point voltage	$U_{mpp}$	30.5 V	30.9 V	31.4 V
Short circuit current	$I_{sc}$	8.81 A	8.88 A	8.94 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	8.27 A	8.32 A	8.37 A
Module efficiency	$\eta_m$	14.91 %	15.21 %	15.51 %

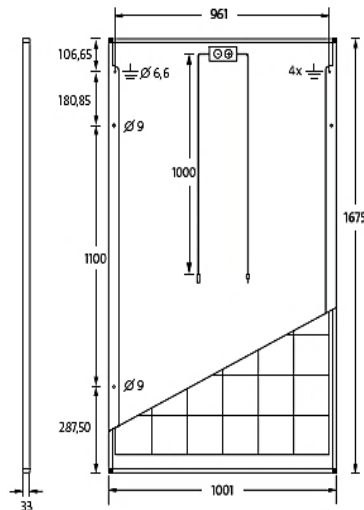
Measuring tolerance ( $P_{max}$ ) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled)

\*STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m<sup>2</sup>, NOCT, AM 1.5

		SW 250	SW 255	SW 260
Maximum power	$P_{max}$	185.4 Wp	188.7 Wp	192.4 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	34.2 V	34.5 V	34.8 V
Maximum power point voltage	$U_{mpp}$	27.8 V	28.1 V	28.5 V
Short circuit current	$I_{sc}$	7.24 A	7.30 A	7.35 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	6.68 A	6.72 A	6.76 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m<sup>2</sup>, 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved.



#### DIMENSIONS

Length	1675 mm
Width	1001 mm
Height	33 mm
Frame	Clear anodized aluminum
Weight	18.0 kg

#### THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
TC $I_{sc}$	0.051 %/K
TC $U_{oc}$	-0.31 %/K
TC $P_{mp}$	-0.41 %/K

#### PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	25 A
Load / dynamic load	5.4 / 2.4 kN/m <sup>2</sup>
Number of bypass diodes	3
Operating range	-40 °C to +85 °C

#### COMPONENT MATERIALS

Cells per module	60
Cell type	Poly crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	tempered glass (EN 12150)

#### ADDITIONAL DATA

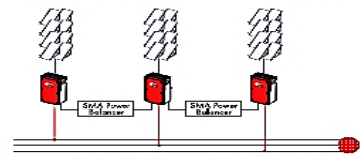
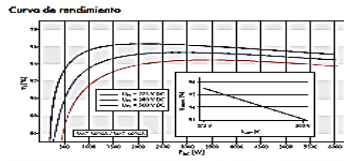
Power sorting	-0 Wp / +5 Wp
J-Box	IP65
Connector	H4

## Inversor central



### Datos técnicos SUNNY MINI CENTRAL 4600A / 5000A / 6000A

	SMC 4600A	SMC 5000A	SMC 6000A
<b>Entrada [CC]</b>			
Potencia máxima de CC	5250 W	5750 W	6300 W
Tensión máxima de CC	600 V	600 V	600 V
Rango de tensión fotovoltaica, MPPT	246 V - 480 V	246 V - 480 V	246 V - 480 V
Corriente máx. de entrada	26 A	26 A	26 A
Número de seguidores de MPPT	1	1	1
Número máx. de strings (en paralelo)	4	4	4
<b>Salida [CA]</b>			
Potencia nominal de CA	4600 W	5000 W	6000 W
Potencia máxima de CA	5000 W	5500 W	6000 W
Corriente máx. de salida	26 A	26 A	26 A
Tensión nominal de CA / rango	220V - 240V / 180V - 260V	220V - 240V / 180V - 260V	220V - 240V / 180V - 260V
Frecuencia de red de CA (de ajuste automático) / rango	50 Hz / 60 Hz / 44,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / 44,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / 44,5 Hz
Factor de potencia (cos φ)	1	1	1
Conexión de CA / Power Balancing	monofásico / ●	monofásico / ●	monofásico / ●
<b>Coefficiente de rendimiento</b>			
Coefficiente de rendimiento máx.	96,1 %	96,1 %	96,1 %
Rendimiento europeo	95,2 %	95,2 %	95,2 %
<b>Dispositivos de protección</b>			
Protección contra polarización inversa (CC)	●	●	●
Seccionador de carga de CC ESS	●	●	●
Resistencia al cortocircuito [CA]	●	●	●
Monitorización de temperatura	●	●	●
Monitorización de red [SMA grid guard]	●	●	●
<b>Separación galvánica</b>			
<b>Datos generales</b>			
Dimensiones (ancho x alto x fondo) en mm	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242
Peso	62 kg	62 kg	63 kg
Rango de temperatura de servicio	-25 °C - +60 °C	-25 °C - +60 °C	-25 °C - +60 °C
Emissiones de ruido [tipico]	≤ 42 dB(A)	≤ 42 dB(A)	≤ 42 dB(A)
Consumo característico: funcionamiento [standby] / nocturno	< 7 W / 0,25 W	< 7 W / 0,25 W	< 7 W / 0,25 W
Topología	Transformador de baja frecuencia	Transformador de baja frecuencia	Transformador de baja frecuencia
Sistema de refrigeración	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Lugar de montaje: interior / exterior [electrónica IP65]	● / ●	● / ●	● / ●
<b>Características</b>			
Conexión de CC: MC 3 / MC 4 / tipo	○ / ● / ○	○ / ● / ○	○ / ● / ○
Conexión de CA: borne rosado	●	●	●
Display LCD	●	●	●
Interfaz: RS485 / radio	○ / ○	○ / ○	○ / ○
Garantía: 5 años / 10 años	● / ●	● / ●	● / ●
Certificados y autorizaciones	www.SMA-Iberica.com	www.SMA-Iberica.com	www.SMA-Iberica.com
● equipamiento de serie ○ Opcional	Datos en condiciones nominales - Última actualización: Abril 2009		



www.SMA-Iberica.com  
Free call 00800 SUNNYBOY  
Free call 00800 78669269

SMA Solar Technology AG

## Batería de Litio

Change Your Energy, Charge Your Life

### 48V

Modelos	RESU3.3	RESU6.5	RESU10
Energía total [kWh]	33	65	98
Energía utilizable [kWh]	29	59	88
Capacidad [Ah]	63	126	189
Tensión nominal [V]	51.8	51.8	51.8
Rango de voltaje [V]	42.0-58.8	42.0-58.8	42.0-58.8
Potencia máxima [kW]	3.0	4.2	5.0
Pico de potencia [kW] (durante 3 seg)	3.3	4.6	7.0
Dimensión [H x A x P, mm]	452 x 401 x 120	452 x 654 x 120	452 x 483 x 227
Peso [kg]	31	52	75
Clasificación de protección hermética	IP55		
Comunicación	CAN 2.0 B		
Certificación	Célula	UL1642	
	Producto	UL1973 / TLV (IEC 62619) / CE / FCC / RCM	



## ANEXO 2

Artículo presentado en Las Jornadas Peruanas de Energía Solar (JOPES 2020)

### **Sustainable energization for the development of the high Andean rural region of Peru, based on renewable energy potential. Case study: San Francisco de Raymina, Ayacucho**

**C A Salvador\*, M J Horn**

Faculty of Sciences, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, 15333, Rímac, Lima, Peru

\*E-mail: carlos.salvador.t@uni.pe

**Abstract.** The objective of the present study is to use renewable energies as a tool to achieve energy sustainability of the high Andean rural region of Peru. This work analyzes the energy situation of the rural community San Francisco de Raymina, located in the Ayacucho Region at 3798 masl. Based on an energy diagnosis of the community, identifying the basic energy needs, and an evaluation of the renewable energy potential of the place, strategies are developed and efficient and viable technologies are proposed with the use of renewable energies for the sustainable energization. Particularly, as the community has very limited electricity supply, typical for many similar villages, insufficient for the development of productive activities, a local photovoltaic installation is proposed and for the necessary heating of the houses, solar passive bioclimatic designs, appropriate for the region, are proposed, as already successfully in use.

#### **1. Introduction**

In Peru, the poorest and most vulnerable population is located in the high Andean zones, where communities predominate whose population lives under extreme poverty. According to the information provided by INEI, in reference to the Peruvian population living in poverty and extreme poverty, around 966 thousand do not have electricity (3.0 % of all Peruvians), 487 thousand use candles for lighting (1.5 % of Peruvians), about 1.6 million use firewood for cooking food, water heating and heating of their homes (5.0 % of Peruvians), and 660 thousand inhabitants of Peru, who live in the high Andean regions, live under conditions of extreme poverty, characterized, among others, by the lack of access to energy. Some populations from these sectors, close to electric power lines, have electricity; however, this is not enough to meet productive needs, as is the case of the rural community under study. The problem of the population of extreme poverty manifests itself fundamentally in the lack of energy. The supply of adequate basic energy services is an indispensable requirement to facilitate the process of improvement and progress of the poorest and most vulnerable sectors of Peru.

In the last decade, the Peruvian state, private institutions and NGOs, have carried out various projects for the energization of rural areas using renewable energies as an energy source. Many of these projects have failed or are in a precarious state because of unfamiliarity of the region and a lack of an adequate energy diagnosis of the zone. Usually these projects replicated standardized solutions that are unlikely to be adaptable to the needs of each zone. Different experiences around the world show that unsuitable projects can be more harmful than beneficial. Analyzing the energy issue from a territorial perspective presents multiple advantages since it allows, among other things: identifying potential renewable energy resources, analyzing energy demand and identifying energy priorities.

## ANEXO 3

Artículo presentado al XXVII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente

*XXVII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXVII- SPES), Arequipa, 16-20.11.2020*

### **PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA DE 4,5 kW<sub>p</sub> PARA LA COMUNIDAD RURAL ALTOANDINA SAN FRANCISCO DE RAYMINA, AYACUCHO-PERÚ**

**Carlos Alberto Salvador Tixe** – carlos.salvador.t@uni.pe

**Manfred Horn Mutschler** – mhorn@uni.edu.pe

Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Lima, Perú

**Resumen.** *El presente documento forma parte de un trabajo de investigación, en donde se estudia la situación energética de la comunidad rural altoandina San Francisco de Raymina, ubicada en la Región Ayacucho a 3798 msnm. Se describe y analiza la situación actual del suministro de energía eléctrica de la localidad. Sobre la base de un diagnóstico situacional, identificando las necesidades (uso y consumo) de energía eléctrica de la población, y una evaluación del potencial energético renovable del lugar, se plantea una solución tecnológica limpia y viable. Particularmente, como la comunidad tiene un suministro de electricidad muy limitado, típico de muchos pueblos similares, insuficiente para el desarrollo de actividades productivas, se propone una instalación fotovoltaica local, a fin de reemplazar el sistema de red convencional y satisfacer la demanda local de manera sustentable.*

**Palabra-clave:** *Planta fotovoltaica, Energía solar, Tecnología fotovoltaica, Sistema fotovoltaico conectado a la red.*

**Abstract.** *This document is part of a research work, where the energetic situation of the rural community San Francisco de Raymina, located in the Ayacucho Region at 3798 masl, is evaluated. The current situation of electric energy supply in the locality is described and analyzed. Based on a situational diagnosis, identifying the needs (use and consumption) of electric energy of the population, and an evaluation of the renewable energy potential of the place, a clean and viable technological solution is proposed. Particularly, as the community has very limited electricity supply, typical for many similar villages, insufficient for the development of productive activities, a local photovoltaic installation is proposed, in order to replace the conventional grid system and to satisfy the local demand in a sustainable way.*

**Key words:** *Photovoltaic plant, Solar energy, Photovoltaic technology, Grid-connected photovoltaic system.*

## ANEXO 4

### EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA COCINA ECOEFICIENTE

Se estudia una cocina con sistema de microgasificación. Para la evaluación de la cocina se utilizó la primera fase del protocolo Prueba de Ebullición del Agua (Water Boiling Test) WBT 4.2.3 denominado “Arranque en frío” (Clean Cooking Alliance, 2014). Las pruebas se llevaron a cabo en 3 días consecutivos en condiciones de uso cotidiano, en el mes de octubre del 2018. La tabla 42 muestra las características del combustible empleado para la prueba.

La prueba de Arranque en frío, consiste básicamente en:

- Hervir 5 litros de agua en una olla sin tapa con un entorno controlado.
- Medir la leña consumida, cantidad de ceniza y biocarbón obtenido. Controlar el tiempo de ebullición del agua.

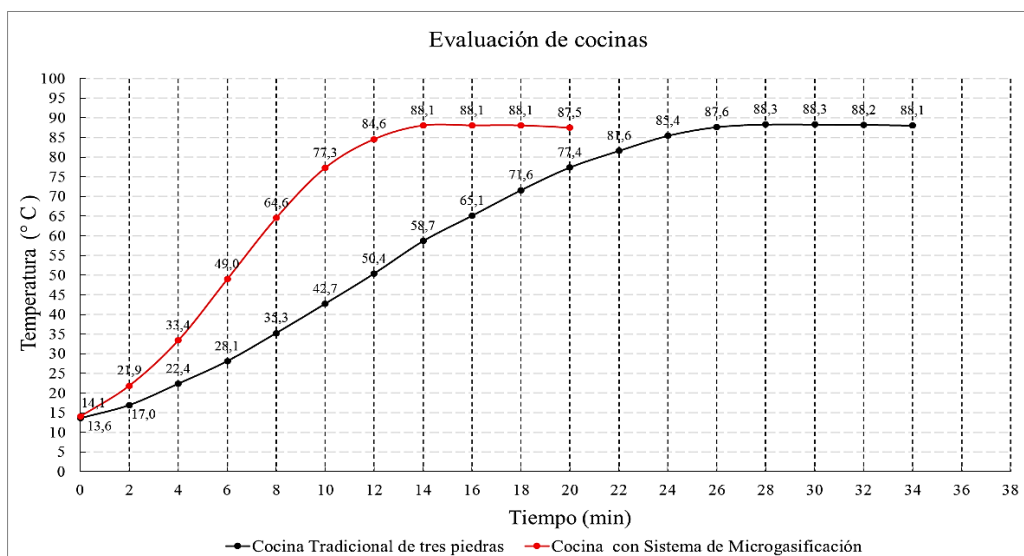
**Tabla 42.** Características del combustible utilizado (Carbonal, 2018).

<b>Leña de eucalipto</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Humedad	< 20 %
Poder Calorífico	3 900 kg / kJ

La comparación experimental entre una cocina ecoeficiente y la cocina tradicional de tres piedras (ver tabla 43 y figura 57), fue desarrollada en la comunidad de Raymina.

**Tabla 43.** Registro de datos de la prueba de comparación de cocinas en la localidad.

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperaturas (°C)</b>	
	<b>Cocina de tres piedras</b>	<b>Cocina con Sistema de Microgasificación</b>
0	13,6	14,1
2	17,0	21,9
4	22,4	33,4
6	28,1	49,0
8	35,3	64,6
10	42,7	77,3
12	50,4	84,6
14	58,7	<b>88,1</b>
16	65,1	88,1
18	71,6	88,1
20	77,4	87,5
22	81,6	
24	85,4	
26	87,6	
28	<b>88,3</b>	
30	88,3	
32	88,2	
34	88,1	



**Figura 57.** Comparativo curvas Temperatura vs Tiempo de las cocinas evaluadas.

La tabla 44 presenta las características térmicas de las cocinas evaluadas en la localidad.

**Tabla 44.** Características térmicas de las cocinas.

Características Térmicas	Cocina tradicional de tres piedras	Cocina con Sistema de Microgasificación
Humedad del combustible: Eucalipto (%)	< 20	< 20
Masa del combustible utilizado (kg)	1.84	0,73
Temperatura Ambiente (°C)	14,00	14,40
Temperatura del agua (°C)	13,63	14,07
Temperatura de ebullición del agua (°C)	88,30	88,10
Masa de la olla con el agua final (kg)	5,07	5,40
Masa del agua final (kg)	4,37	4,70
Masa del biocarbón (kg)	0,04	0,23
Tiempo punto de ebullición (minutos)	27,33	14,00
Tiempo total de la prueba (minutos)	33,33	20,00
Consumo de leña (kg/min)	0,07	0,05



**Figura 58.** Vista de los componentes de la cocina con sistema de microgasificación.