



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA
POTENCIAL A PARTIR DE LA RADIACIÓN
SOLAR DEL DISTRITO LAGUNAS - CHICLAYO”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Marcio Luis Sanchez Montehermoso

Asesor:

Mg. Zait Becker Ayala Capra

<https://orcid.org/0000-0002-6579-9621>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Angélica Ysabel Miranda Jara	40670962
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Margeo Javier Chumán López	45997406
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Denisse Milagros Alva Mendoza	45535817
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

“ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA POTENCIAL A PARTIR DE LA RADIACIÓN SOLAR DEL DISTRITO LAGUNAS - CHICLAYO”

INFORME DE ORIGINALIDAD

7% INDICE DE SIMILITUD	7% FUENTES DE INTERNET	2% PUBLICACIONES	3% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	seu.reus.cat Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.autonoma.edu.co Fuente de Internet	<1%
6	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

Dedicado en primer lugar a Dios, por otorgar la gracia de vida y dones para aplicarlos en favor del prójimo. A mis padres por su amor y apoyo en mi desarrollo académico.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por el apoyo y motivación brindada en todo el trayecto de mi aprendizaje. A mis docentes y asesores por orientarme en conocimientos y poder culminar satisfactoriamente la presente investigación.

Tabla de contenido

Jurado calificador	2
Informe de similitud	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento.....	5
Tabla de contenido	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Resumen	9
Capítulo I: Introducción	10
Capítulo II: Metodología	18
Capítulo III: Resultados	27
Capítulo IV: Discusión y Conclusiones	37
Referencias	41
Anexos	47

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Centrales solares en el Perú en operación al 2023.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2: Datos técnicos generales de la CSF Rubí.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 3: Datos técnicos de los paneles solares de la CSF Rubí.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4: Datos técnicos de los inversores de la CSF Rubí.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 5: Datos técnicos de los paneles solares del proyecto Lagunas PV.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 6: Datos técnicos de los inversores del proyecto Lagunas PV.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 7: Coordenadas del área del Proyecto Lagunas PV.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 8: Coordenadas centrales del área del Proyecto Lagunas PV.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 9: Datos de radiación mensual de diferentes bases de datos.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 10: Porcentaje de variación de las bases de datos con el Atlas de energía solar del Perú.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 11: Porcentaje de variación de las bases de datos finales con el Atlas de energía solar del Perú.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 12: Datos de temperatura mensual del Proyecto Lagunas PV y la CSF Rubí.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 13: Comparación de matriz fotovoltaica.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 14: Comparación de matriz fotovoltaica.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 15: Principales resultados de la simulación del proyecto Lagunas PV.....</i>	<i>35</i>

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de la ZEE del distrito de Lagunas y delimitación del área del proyecto

Lagunas PV 29

Figura 2: Diagrama de pérdida de la simulación del proyecto..... 36

RESUMEN

La existencia de abundante radiación solar como importante recurso renovable en el norte del Perú es mencionada por diversas investigaciones nacionales e internacionales; a pesar de ello existe un mínimo aprovechamiento de su potencial para solventar la creciente demanda energética nacional, debido a escasas iniciativas comenzando por su determinación cuantitativa; por lo que el objetivo de la investigación fue estimar la energía fotovoltaica potencial a partir de la radiación solar en el distrito de Lagunas de la provincia de Chiclayo, asimismo compararla con la Central Solar Fotovoltaica Rubí (CSF Rubí). Se estimó la cantidad de energía fotovoltaica que puede generarse a partir de la radiación solar en el distrito de Lagunas mediante simulación con el software PVSyst 7.3 en función del análisis documental de las bases de datos y guiándonos de los datos técnicos de la CSF Rubí. Reportándose que anualmente la radiación global incidente en el plano receptor de un área efectiva de 876069 m² cubiertos por paneles solares es de 2833.2 kWh/m² y la cantidad de energía fotovoltaica potencial anual es 327.68 GWh. Concluyéndose que en comparación con la CSF Rubí, la cantidad de energía fotovoltaica que puede producirse a partir de la radiación solar en esta ubicación, es en gran medida viable su aprovechamiento.

PALABRAS CLAVES: Recurso renovable, energía fotovoltaica, radiación solar, software PVSyst, Central solar.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el Perú, las zonas que poseen mayor potencial de energía solar son la costa sur en las regiones de: Arequipa, Moquegua y Tacna (6,0 a 6,5 kWh/m²) y también la costa norte en las regiones de: La Libertad, Lambayeque, Piura y Tumbes (5,5 a 6,0 kWh/m²), tal como menciona el SENAMHI (2003). A pesar de las zonas potenciales para el aprovechamiento de la energía solar, actualmente el Perú solo cuenta con 7 Centrales Solares Fotovoltaicas, todas ellas instaladas en la zona sur, ninguna hasta el momento en el norte del país (Schmerler et al., 2019). De las zonas en el norte del país, descritas con mayor potencial, una de ellas es la región Lambayeque que, según los estudios de zonificación, el distrito de Lagunas de la provincia de Chiclayo, es un lugar que tiene las condiciones óptimas para su aprovechamiento (Gobierno Regional de Lambayeque, 2017), pero no hay ninguna iniciativa con tales fines.

Teniendo en cuenta que la demanda eléctrica efectiva está en aumento tal como se evidencia en los gráficos de la máxima demanda por mes que presenta la Gerencia de Políticas y Análisis Económico (GPAE) de Osinergmin (Ver anexo N° 1), así como también la tendencia a crecimiento de consumo de energía eléctrica del distrito donde se tiene planeado hacer la estimación, según Osinergmin y Electronorte S.A. (Ver anexo N° 2), se genera la necesidad de aumentar la reserva energética para cubrir la demanda futura.

La estimación de la energía fotovoltaica potencial que puede generarse en éste distrito, así como la comparación con la central solar más grande del país, sirve como base para realizar un proyecto que pueda cubrir esa necesidad. En el distrito de Lagunas, existe una creciente demanda de energía y una preocupación por reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. La radiación solar en la región muestra características favorables para el aprovechamiento de la energía fotovoltaica como una fuente sostenible y limpia de generación de electricidad. Sin embargo, se carece de un análisis exhaustivo que evalúe y cuantifique el verdadero potencial de generación de energía fotovoltaica a partir de la radiación solar en el distrito de Lagunas.

Esta falta de conocimiento preciso sobre el potencial de generación de energía fotovoltaica en el distrito de Lagunas crea una brecha en la toma de decisiones informadas y en el desarrollo de políticas energéticas adecuadas. Es esencial comprender la capacidad y viabilidad de la energía fotovoltaica en la región, considerando factores como la radiación solar disponible, la eficiencia de los paneles solares, la disponibilidad de terrenos apropiados y el impacto económico y ambiental.

En este contexto, es fundamental realizar una investigación exhaustiva y precisa para determinar el verdadero potencial de generación de energía fotovoltaica a partir de la radiación solar en el distrito de Lagunas. Este conocimiento permitirá impulsar la transición hacia fuentes de energía más sostenibles, reducir las emisiones de carbono y promover el desarrollo socioeconómico en la región.

1.1.1 Estado del arte

En esta sección, se realiza una revisión sistemática de literatura para comprender todo lo relacionado con lo que se ha elaborado, lo que se está haciendo y lo que falta por hacer. Todo relacionado con temáticas, metodologías, resultados y puntos clave que permiten verificar las necesidades de seguir investigando sobre energía fotovoltaica potencial a partir de la radiación solar.

En la actualidad, una de las formas de aprovechar la radiación solar, es mediante la generación de energía fotovoltaica, puesto que, desde la fabricación de células solares de manera comercial debido a nuevos materiales, diseños, avances tecnológicos y las economías de escala, su costo fue reduciéndose de manera progresiva, mientras que su eficiencia fue en aumento (Vásquez et al., 2017); así como la amplitud de los sectores en los que puede ser aplicada (Van Campen et al., 2000). La radiación solar se ha convertido en una de las fuentes más rentables (Valdés et al., 2020; Espejo y Aparicio, 2020); además de ser considerada una fuente limpia (Moura et al., 2019) ya que su generación disminuye la emisión de gases de efecto invernadero, no hay emisión de ruido y gases contaminantes (Cesar y Scarduelli, 2019).

Para diversos autores que investigaron la radiación solar en la provincia de Chiclayo, es preciso realizar una evaluación del aprovechamiento de esta energía; así como un dimensionamiento de la instalación y selección de un sistema fotovoltaico estimando su potencial como prospección de la radiación solar como recurso (Farfán y Campos, 2019; Ocampo, 2020; Niño, 2020).

Otros autores en el país reportan la viabilidad de generación de energía eléctrica mediante la utilización de paneles fotovoltaicos aprovechando el índice de radiación (Atarama, 2019), por otro lado, el dimensionamiento de una instalación y la potencia que puede ser implementada para cubrir una demanda energética (López, 2019) también es importante, así como la valoración energética mediante una caracterización del recurso solar (Cañazaca y Ramos, 2020).

En países vecinos con áreas geográficas dentro los trópicos, también se han realizado investigaciones para el aprovechamiento del recurso solar, como en Brasil, muy desarrollado en cuanto a energías renovables, que verifican áreas disponibles para la implantación de un proyecto y trabajan datos de radiación solar (Roedel y Mafra, 2019); asimismo en Ecuador muestran cómo cuantificar la cantidad de energía generada de un sistema fotovoltaico (Potes y Proaño, 2020); de igual forma en Colombia describen la evaluación de energía solar que realizan en todo un departamento por medio de una sectorización, determinan zonas con mayor potencial y calculan su rendimiento (Muñoz et al., 2019).

A nivel mundial, distintos autores presentan simulaciones (escenarios favorables y desfavorables) de rendimiento de un sistema fotovoltaico para determinar su viabilidad, dimensionamiento, desempeño y generación eléctrica, mediante el uso de softwares especializados (Piotrowska, 2017; Castillo et al., 2018; Whiting et al., 2014). Así mismo, indican que es posible que la eficiencia del sistema incremente de 20% a 23% con la implementación de un mecanismo de seguimiento solar (Padilla et al., 2022; Pelayo et al., 2020; Lobos et al., 2022) y un 30% en la captación de luz (Barbosa et al., 2022).

Debido a su ubicación geográfica muy cercana al ecuador, el Perú se encuentra entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio ($23^{\circ} 27'$ de latitud norte y sur respectivamente), lo que lo hace un país muy beneficiado en cuanto a cantidad de radiación solar que recibe, ya que esta incide en la zona prácticamente de manera directa, como mencionan Blanco y Pérez (2009) la energía solar se encuentra en abundancia en los trópicos, asimismo alegan que la producción de energía es una muy buena opción en estas áreas donde el Perú se localiza.

En síntesis, se evidencia que no existe el estudio de la implementación de un sistema fotovoltaico de gran escala en la zona norte del Perú, para la generación de energía eléctrica. Es por ello que en la presente investigación se plantea estimar la energía fotovoltaica potencial que puede generarse a partir de la radiación solar en el distrito de Lagunas de Chiclayo.

1.1.2 Marco teórico

A continuación, se fundamenta sobre la conceptualización de energía fotovoltaica, radiación solar, potencial de generación, todo ello, con el propósito de explicar en qué consiste ésta investigación. En otras palabras, los conceptos desarrollados en este espacio, facilitan exponer la metodología planteada, aclarar los resultados y formular conclusiones.

A todo esto, la energía fotovoltaica es la energía eléctrica obtenida por medio de células fotoeléctricas reunidas en paneles solares mediante la conversión directa de la radiación solar en electricidad (Roldán, 2012). Siendo la radiación solar la energía radiante emitida por el Sol como consecuencia de sus reacciones de fusión

nuclear (Zaidi, 2018), además se refiere a la radiación electromagnética del Sol, la cual es muy importante como opción de generación renovable (Falayi y Rabiú, 2012).

Este aprovechamiento va de acuerdo al potencial de radiación solar, que es la medida de la irradiancia solar que incide por unidad de superficie, cuantificando la intensidad de la radiación y midiéndose en W/m^2 o en algún otro múltiplo de esta unidad (Cantos, 2016) y también es el nivel que define la entrada de energía del sistema fotovoltaico además que varía a lo largo del día y la temporada (Eke, 2020).

Lo que evaluamos para la producción de energía es la irradiación solar global, que es el resultado de integrar la irradiancia en un período de tiempo, sus unidades son kWh/m^2 , las cuales cometen sobre el plano terrenal de manera directa y difusa (SENAMHI, 2003). La generación de energía fotovoltaica, se basa en la transformación directa de la radiación del Sol en electricidad, y se efectúa mediante una célula solar, donde se provoca el efecto fotovoltaico (Caicedo et al., 2020), también se le denomina como la transformación de la energía que tiene la luz del sol (fotones) en energía eléctrica (Roldán, 2012); cuyo principio fundamental es el efecto fotoeléctrico el cual es el fundamento de la actividad de las células solares, un mecanismo basado en la unión de dos semiconductores p-n (ánodo y cátodo), cuales electrones se trasladan a la banda de conducción por la contribución energética de fotones incidentes (Perpiñán, 2023).

De las centrales solares mencionadas, la Central Solar Fotovoltaica Rubí (CSF Rubí) es la central más grande del país y posee la mayor potencia (MW) y energía ofertada (GWh/año) según Osinergmin (2020), líneas abajo se presentan las centrales solares del Perú en operación al presente año.

Tabla 1

Centrales solares en el Perú en operación al 2023

Nombre	Potencia (MW)	Energía ofertada (GWh/año)
Panamericana Solar (Ilo)	20	50,676
Majes Solar 20T (Arequipa)	20	37,630
Repartición Solar 20T (Arequipa)	20	37,440
Tacna Solar (Tacna)	20	47,196
Moquegua (Moquegua)	16	43,000
Intipampa (Moquegua)	44.5	108,404
Rubí (Moquegua)	144.5	415,000

Nota. La tabla describe las centrales solares en el Perú en operación al 2023. Adaptado de “Proyectos de Centrales de Generación Eléctrica con Recursos Energéticos Renovables (RER)”, Osinergmin, 2020.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el potencial de generación de energía fotovoltaica a partir de la radiación solar en el distrito Lagunas – Chiclayo?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Estimar la energía fotovoltaica potencial a partir de la radiación solar en el distrito de lagunas – Chiclayo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar y recopilar datos sobre la radiación solar incidente en el distrito de Lagunas, considerando los datos históricos de la central solar fotovoltaica Rubí.

- Identificar y evaluar las características geográficas y ambientales que podrían influir en el potencial de generación de energía fotovoltaica en el distrito de Lagunas.
- Calcular y estimar la capacidad de generación de energía fotovoltaica en el distrito de Lagunas, considerando factores como la eficiencia de los paneles solares y la disponibilidad de terrenos adecuados para su instalación.

1.4. Hipótesis

El potencial de generación de energía fotovoltaica a partir de la radiación solar en el distrito de Lagunas – Chiclayo es significativamente alto, estimado en 0.165 kilovatios pico (kWp) por unidad de área.

1.5. Justificación

Por lo expuesto, la investigación se justifica a nivel económico debido los bajos costos que conlleva realizar el aprovechamiento de energía fotovoltaica actualmente en comparación a otras fuentes de energía y lo rentable que resulta tal como se mencionó anteriormente; a nivel ambiental, además que es sostenible y ecológica (Carlos y Paganini, 2019), ya que del producto final de su instalación no resultan contaminantes y no perturba el medio ambiente; y a nivel social porque el proyecto representaría una fuente de generación de empleo, pues el lugar donde se hace el proyecto es un distrito en desarrollo, la población se dedica principalmente a la agricultura y se ubican en él medianas industrias, lo que ha ocasionado el aumento de la demanda energética (Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2010).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

En la presente investigación se han recolectado datos de radiación solar para estimar la energía fotovoltaica potencial utilizando básicamente mediciones numéricas y aplicado un análisis por simulación; por ello la investigación realizada tiene enfoque cuantitativo (Hernández et al., 2014). Así mismo el presente proyecto de investigación tiene un alcance descriptivo y correlacional debido a que se estima la energía potencial fotovoltaica. El método de investigación es experimental porque se manipulan datos de radiación solar, áreas geográficas, parámetros meteorológicos y componentes del sistema fotovoltaico, con el objetivo de estimar la energía potencial fotovoltaica.

De acuerdo a estos datos de radiación solar que se están utilizando para realizar la estimación, el estudio posee una clasificación retrospectiva, debido a que en efecto examinamos sobre hechos acontecidos en el pasado (Müggenburg y Pérez, 2007). La investigación considera el mismo universo como población y muestra, los cuales son los datos de radiación solar de diferentes bases de datos recopilados del distrito de Lagunas, el cual pertenece a la provincia de Chiclayo, ubicado en el departamento de Lambayeque. Se recopilan datos de radiación solar del distrito, para trabajar las estimaciones que apoyaran al estudio (Rodríguez, 2007), por lo tanto, la técnica utilizada en la investigación es la documental.

Los instrumentos utilizados en la recolección de información para el desarrollo de esta investigación fueron de dos tipos: el análisis documental y el análisis de base de datos fue tomado como referencia de la CSF Rubí y simulación mediante el software PVSyst 7.3 para estimar la energía fotovoltaica. El análisis documental del Atlas de energía solar del Perú, que es un instrumento que permite diseñar de manera adecuada sistemas fotovoltaicos de acuerdo a su ubicación geográfica, este refuerza los datos históricos y recientes sobre la irradiación solar en todo el país que se emplearon para validar la base de datos extraída por el software PVSyst 7.3.

El software PVSyst 7.3 para evaluar el desempeño de un sistema fotovoltaico estima su rendimiento basado en el parámetro de entrada, se accedió a las bases de datos de plataformas web de instituciones internacionales tales como: NASA RetScreen, una plataforma virtual que nos brinda datos solares y meteorológicos de investigaciones de la NASA con la cual es posible respaldar proyectos de energía renovable, eficiencia energética de edificaciones y otras necesidades; NSRDB, una base de datos virtual de valores meteorológicos, posee datos de radiación solar, además que puede ser enfocado en una ubicación, determinar la cantidad de energía solar en un periodo y predecir una disponibilidad; Meteonorm, un software donde encontramos una base de datos climática global, además que se realizan simulaciones de grandes plantas fotovoltaicas o sistemas de gestión de energía; y el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS), una plataforma virtual libre del Centro Común de Investigación (JRC) de la Unión Europea, donde tenemos a disposición datos de radiación solar y temperatura, series de tiempo, mapas y podemos realizar cálculos de potencial fotovoltaico.

La identificación de la ubicación adecuada para la generación de energía fotovoltaica se ejecutó mediante una revisión del informe de Zonificación Ecológica Económica (ZEE), realizado en el año 2013 por el Gobierno Regional de Lambayeque y contrastada con imágenes satelitales en el software de sistemas de información geográfica ArcGIS usando su complemento ArcMap 10.3, esta es una muy útil herramienta para procesar información geográfica, la cual nos permite recopilar información, organizarla y analizarla. La determinación de la relación entre la radiación solar y la energía fotovoltaica se realizó mediante una simulación en el software PVSyst 7.3.

2.1 Datos técnicos de la Central Solar Fotovoltaica Rubí (CSF Rubí)

La CSF Rubí se encuentra en el departamento de Moquegua, en la provincia de Mariscal Nieto y distrito de Moquegua; donde cubre 4000000 m² aproximadamente con 560 880 paneles solares, los cuales tienen una potencia instalada de 144.48 MW y generan 440 GWh por año (Enel Perú, 2018). Otros datos acerca de la CSF Rubí se presentan líneas abajo.

Tabla 2

Datos técnicos generales de la CSF Rubí

Área que abarca	4000000 m ²
Potencia instalada	144,48 MW
Generación eléctrica	440 GWh por año
Tipo de estructura	Seguidor horizontal de 1 eje
Eje de seguimiento de orientación	Norte/Sur (N/S) de 72 celdas
Total de paneles	560880
Total de inversores	164

Nota. La tabla describe datos generales de la CSF Rubí, tomados de reportes de Enel Perú y Osinergmin.

A continuación, se exponen las características de los paneles solares que están instalados en la CSF Rubí en la tabla 3.

Tabla 3

Datos técnicos de los paneles solares de la CSF Rubí

Tipo de paneles solares	Risen 320W
Potencia máxima	320W
Max potencia de voltaje	37.3V
Max potencia de corriente	8.60 ^a
Eficiencia del módulo	16.50%
Celdas	Poli cristalinas 156 mm x 156 mm 72 celdas (6 x 12)
Tem. Operativa de la celda	-40° C ~ 85° C
Dimensiones	1956 x 992 x 40 (mm)
Peso	24 kg

Nota. La tabla describe datos de los paneles solares de la CSF Rubí. Adaptado de “Proyectos de Centrales de Generación Eléctrica con Recursos Energéticos Renovables (RER)”, Osinergmin, 2020 y ficha técnica de paneles solares Risen 320W.

A continuación, se exponen las características de los inversores que están instalados en la CSF Rubí en la tabla 4.

Tabla 4

Datos técnicos de los inversores de la CSF Rubí

Tipo de Inversores	Fimer R11015TL
Potencia máxima	1.091 KVA 25 ° C / 1.025 KVA 50 ° C
Voltaje de salida	400 VAC + -10%
Eficiencia máxima	98.90%
Peso	1530 kg
Dimensiones	1750 x 825 x 2237 mm
Temperatura operativa	-10° C +53° C

Nota: La tabla describe datos de los inversores de la CSF Rubí. Adaptado de “Proyectos de Centrales de Generación Eléctrica con Recursos Energéticos Renovables (RER)”, Osinergmin, 2020 y ficha técnica de Fimer MV Central inverters R11015TL.

2.2 Procedimiento de recolección de datos para el proyecto Lagunas

Se determinó la ubicación adecuada para la generación de energía fotovoltaica mediante la plataforma web del Ministerio del Ambiente (MINAM) donde se obtuvo el mapa de ZEE del departamento de Lambayeque, del cual se identificaron los lugares denominados como zonas con potencial energético renovable alto (Gobierno Regional de Lambayeque, 2013). Se adjunta en el anexo N° 3 el mapa de ZEE del departamento de Lambayeque. De la misma plataforma del MINAM se descargaron los archivos de formato shapefile de la ZEE del departamento, se redujo el análisis al distrito de estudio para determinar el lugar óptimo por medio de imágenes satelitales, además de la zonificación ya realizada por el ministerio, se revisaron las peculiaridades del terreno y se estableció el lugar adecuado para realizar la proyección de la generación, por medio del software ArcGIS. Se delimitó un área del terreno teniendo como referencia el área de proyecto que abarca la CSF Rubí (4000000 m²); con el fin de realizar esta actividad, se estableció una coordenada central para la recopilación de datos de radiación solar.

Con la ubicación identificada y delimitada, se procedió con la determinación del potencial de radiación solar a partir de las bases de datos: de la zona identificada, con la ayuda del software PVSyst 7.3, se recopilaron los datos de radiación solar de las diferentes instituciones internacionales (NASA RetScreen, NSRDB, Meteonorm y el Sistema de información geográfica fotovoltaica); con los datos de radiación solar diaria de cada plataforma se efectuó una comparación con los del Atlas de energía solar del Perú. Se determinó el porcentaje de variación de cada uno de ellos con respecto a los datos del atlas, de esa manera se estimó el valor más cercano a la realidad del potencial de radiación solar, el cual fue tomado para el procesamiento de datos y luego proceder con la simulación.

En el software PVSyst 7.3 se procedió a seleccionar el diseño y simulación del proyecto como una instalación conectada a la red; se asignó el nombre del proyecto: P. Lagunas PV 2023 v1, y se ingresó la coordenada geográfica central establecida. Luego como archivo meteorológico se seleccionó la base de datos tal como se detalla líneas arriba por su menor porcentaje de variación con el Atlas de energía solar del Perú (Meteonorm). Terminado esto, se asignó un nombre a la variante de simulación: VC1: Nueva variante de simulación V1.

2.2.1 Parámetros principales para la simulación:

Se definió la orientación del sistema con un tipo de campo de: Rastreo eje horizontal N-S, y se colocó el azimut de -179° sin inclinación; en la definición del sistema de red se ingresó la potencia planeada del sistema: 144480 kWp (referenciándonos de la CSF Rubí). Seguidamente se seleccionó el módulo fotovoltaico, el cual se presenta en la tabla 5:

Tabla 5

Datos técnicos de los paneles solares del proyecto Lagunas PV

Módulo fotovoltaico: Fabricante	Generic
Módulo fotovoltaico: Modelo	JKM 320PP-72 (Plus)-V
Potencia nominal de la unidad	320 Wp
Número de módulos fotovoltaicos	451500 unidades
Condición de prueba estándar nominal	144.5 MWp
Módulos	15050 Strings x 30 en serie
Potencia fotovoltaica total: Nominal (STC)	144480 kWp
Total	451500 módulos
Área del módulo	876069 m ²
Área de la celda	791115 m ²

Nota. La tabla describe datos de los paneles solares del proyecto Lagunas PV. Adaptado de PVSyst, 2023.

Asimismo, cuando ingresamos el inversor seleccionado se estima la cantidad de 164 inversores, tal como posee la CSF Rubí, las características se presentan líneas abajo.

Tabla 6

Datos técnicos de los inversores del proyecto Lagunas PV

Modelo del fabricante del inversor	Generic Sunway TG 900 1500V TE - 660 EV
Potencia nominal de la unidad	1028 kWac
Número de inversores	164 unidades
Poder total	168592 kWac
Tensión de funcionamiento	940-1300 V
Potencia total inversora: Potencia total	168592 kWac

Nota. La tabla describe datos de los inversores del proyecto Lagunas PV. Adaptado de PVSyst, 2023.

Se seleccionaron ambos equipos para la simulación debido a que poseen características muy similares a los utilizados en la CSF Rubí, se verificó que no haya ningún inconveniente con los rangos de voltaje y cantidad de inversores para la simulación, y se guardó la selección. De manera opcional se tenía la modificación del horizonte, el cual no fue modificado ya que se posee completamente libre.

2.2.2 Pérdidas de la proyección:

Empezando por el factor de pérdidas térmicas del cual el software posee valores predeterminados según el montaje, por lo que para la condición que se posee se selecciona “Módulos montados libres con circulación de aire”. Para pérdidas óhmicas se da la selección por defecto de “Fracción pérdida en STC” cuyo valor es de 1.50%. Para pérdidas por calidad del módulo se da la selección por defecto de “Pérdida de eficiencia módulo” cuyo valor es de -0.8%, éste valor se genera a partir de las especificaciones del fabricante y la desviación de la eficiencia media efectiva del módulo, según el PVSyst 7.3 un valor negativo indica un exceso de rendimiento.

Para pérdidas por desajuste del módulo se da la selección por defecto de “Pérdida de potencia en MPP” cuyo valor es de 2.0%. Para pérdidas por desajuste de voltaje de las cadenas se da la selección por defecto de “Pérdida de potencia en MPP” cuyo valor es de 0.15%. Para pérdidas por suciedad se da la selección por defecto de “Factor de pérdida anual” cuyo valor es de 3.0%. Para pérdidas IAM se da la selección por defecto de “Utilizar la definición del módulo FV”. Para pérdidas auxiliares se da la selección de “Consumo auxiliares definidos” y por defecto en “Auxiliares durante el funcionamiento (día)” se dan los valores de 205.0 kW para “Pérdidas auxiliares continuas” y 12300.0 kW para “...desde el umbral de potencia de salida del inversor”, éstos valores son predeterminados de la definición del inversor.

Para pérdidas por corrección espectral se da la selección de “Usar corrección espectral en simulación” y se selecciona por defecto en Conjunto de coeficientes: “Polycrystalline Si”. Para pérdidas por indisponibilidad del sistema se da la selección por defecto de “Facción de tiempo de indisponibilidad” cuyo valor es de 2.0%, lo que equivaldría a 7.30 días/año. Para pérdidas por envejecimiento se da la selección en Utiliza degradación en la simulación de “Usos en simulación” y por defecto arroja valores de parámetros para la simulación.

2.2.3 Parámetros opcionales para la simulación:

En la opción de “Sombreados cercanos”, se selecciona “sin sombreados” debido a que el área del proyecto es completamente despejada. La opción de diseño del módulo no está habilitada debido a que solo se puede con sistemas inferiores a 5MWp. En la opción de gestión de energía sólo se selecciona en “Temperatura de inversor para evaluación PNom” la opción de “Temperatura ambiente exterior (instalación al aire libre)”. Con respecto al horizonte, éste no se modifica. En evaluación económica no seleccionamos ninguna opción.

En la pantalla principal del software, se ejecutó la simulación, generándose un reporte de la variante ejecutada, del cual se extraen los gráficos y figuras que se exponen en la sección de resultados. Simplificando los procedimientos, el shapefile de la ZEE de la región Lambayeque obtenido de la plataforma web del MINAM fue procesado y analizado en el software ArcGIS con la ayuda de imágenes satelitales. Las coordenadas y punto central son organizados en el Microsoft Excel 2016. Los datos de radiación solar de las diferentes fuentes se organizan en tablas, y son tratados para determinar el porcentaje de variación utilizando el Microsoft Excel 2016. Luego de las determinaciones se ingresan los datos al software PVSyst 7.3 y se efectúa la simulación.

2.3 Aspectos éticos

Los aspectos éticos que considera la investigación son la repartición equitativa y el acceso a la energía; la responsabilidad ambiental ya que, a pesar de ser considerada una fuente limpia, la producción y disposición final puede generar impactos ambientales; la transparencia del proyecto a todas las partes interesadas (comunidades), así como la consideración de los valores culturales al implementar y utilizar la energía solar fotovoltaica.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

En primera medida, para la determinación de una ubicación adecuada donde realizar la estimación de la generación de energía fotovoltaica; mediante el software ArcGIS y con la ayuda de imágenes satelitales se delimitó un área con 8 vértices, los vértices del área comprenden las siguientes coordenadas en la tabla 7.

Tabla 7
Coordenadas del área del proyecto Lagunas PV

Vértices del área de proyecto	Este	Norte	Zona
V1	639088.45 m E	9232620.50 m S	17 M
V2	638113.25 m E	9231674.03 m S	17 M
V3	638495.61 m E	9231389.87 m S	17 M
V4	638620.00 m E	9231505.17 m S	17 M
V5	638809.83 m E	9231344.90 m S	17 M
V6	638157.57 m E	9230639.63 m S	17 M
V7	639238.42 m E	9229738.27 m S	17 M
V8	640759.29 m E	9231481.00 m S	17 M

Nota. La tabla describe coordenadas del área del proyecto Lagunas PV. Obtenido del procesamiento en Google Earth Pro 7.3

A una distancia de 1.2 km aproximadamente de la carretera Panamericana Norte, el área determinada fue delimitada cuidadosamente teniendo en cuenta las características del terreno, ya que, a pesar de ser un área desértica y sin ningún tipo de vegetación, se pueden visualizar antiguos canales de escorrentía. El área resultante de la delimitación fue 4022263m² aproximadamente de los 125984221m² que posee el distrito de Lagunas en su totalidad, clasificados como zonas con alto potencial energético renovable no convencional, según la ZEE de la región.

A continuación, se presenta la tabla N° 8 en la cual se detalla la coordenada central del proyecto Lagunas PV 2023 v1, la cual fue utilizada para la recopilación de los datos de radiación solar de las distintas bases de datos. Se muestran en coordenadas geográficas y UTM.

Tabla 8

Coordenadas centrales del área del proyecto Lagunas PV

Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas		
Este	Norte	Zona	Longitud	Latitud
639528.43 m E	9231233.56 m S	17 M	-79.7369647	-6.95324476

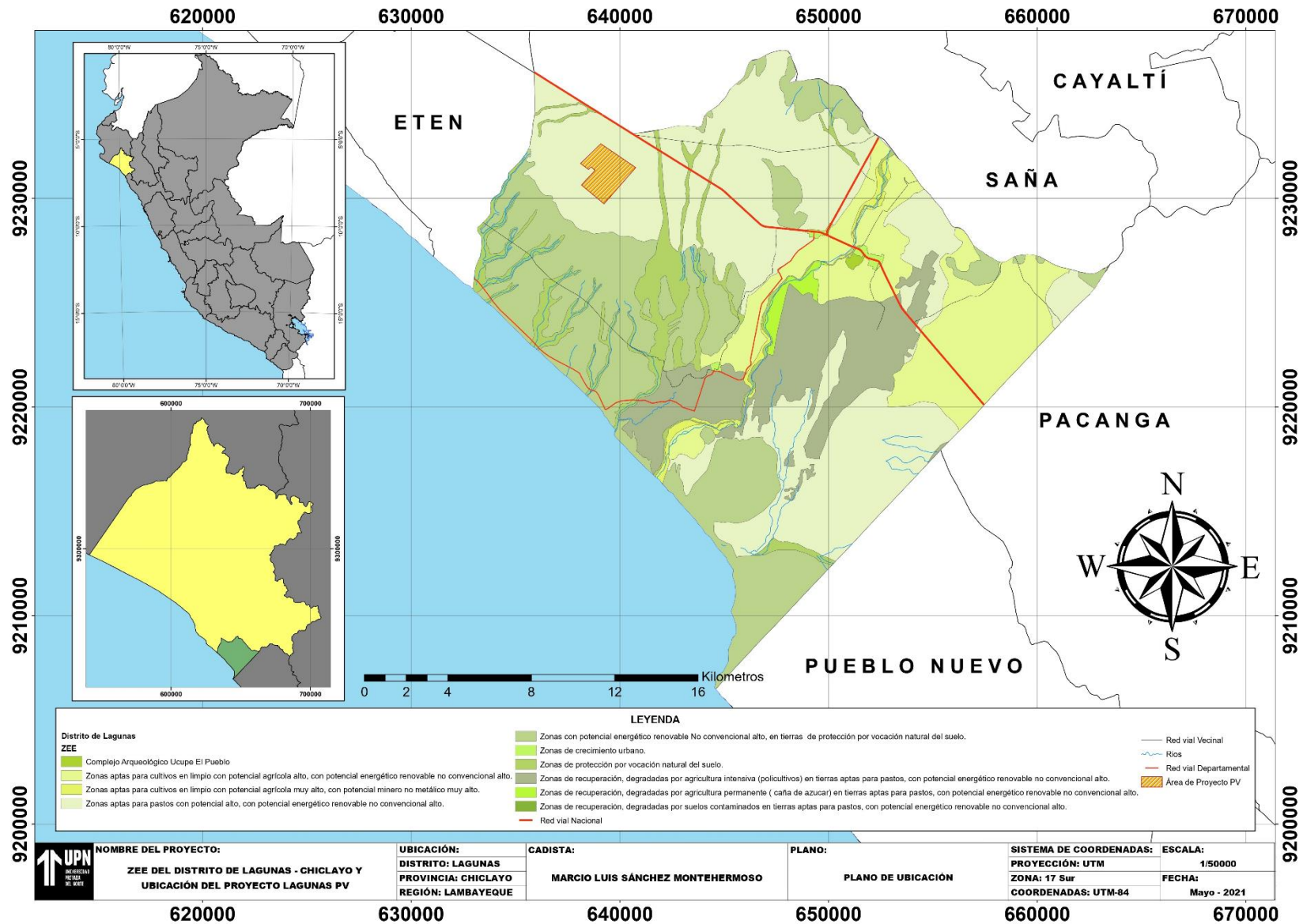
Nota. La tabla describe coordenadas centrales del área del proyecto Lagunas PV. Obtenido del procesamiento en Google Earth Pro 7.3

Por defecto el programa Google Earth Pro 7.3 proporciona las coordenadas en proyección UTM, debido a eso, en el mismo programa se realiza la conversión a coordenadas geográficas, ya que en el siguiente software que se utiliza para la recopilación de datos de radiación solar y posterior simulación, se deben ingresar las coordenadas de esa manera.

En la figura 1 se presenta el modelado final del mapa de la ZEE del distrito de Lagunas segmentado del mapa regional, y a su vez se exhibe la delimitación y ubicación del área del proyecto Lagunas PV 2023 v1, donde se realizaron las estimaciones. Realizado con el software ArcGIS utilizando su complemento ArcMap 10.3.

Figura 1

Mapa de la ZEE del distrito de Lagunas y delimitación del área del proyecto Lagunas PV



Para la determinación del potencial de radiación solar, por medio de la coordenada central del área delimitada presentada en el mapa, se recopilamos datos de radiación solar mensuales de diferentes bases de datos (Meteonorm, NASA RetScreen, PVGIS y NSRDB) mediante el software PVSyst 7.3, y se colocaron junto con los del Atlas de energía solar del Perú, los cuales se muestran en la siguiente tabla 9.

Tabla 9
Datos de radiación mensual de diferentes bases de datos

Base de datos	Meteonorm 8.1	NASA SEE (1983 - 2005)	PVGIS TMY 5.2	NREL / NSRDB	SENAMHI
Mes	kWh/m ² /día				
Enero	6.35	5.70	6.47	6.80	6.25
Febrero	6.13	5.55	6.74	6.40	5.75
Marzo	6.23	5.84	6.17	6.39	5.75
Abril	5.96	5.38	6.08	6.30	5.75
Mayo	5.65	4.89	5.69	5.73	5.25
Junio	5.37	4.47	4.43	4.88	4.75
Julio	5.48	4.48	4.73	5.11	5.25
Agosto	5.46	4.91	5.35	5.34	5.75
Septiembre	5.89	5.59	6.04	6.15	6.25
Octubre	6.41	5.95	6.47	6.59	6.25
Noviembre	6.42	5.98	6.77	6.76	6.25
Diciembre	6.29	5.86	6.68	6.71	6.25
Promedio Anual	5.97	5.38	5.96	6.1	5.79

Nota. La tabla describe datos de radiación solar mensual de diferentes bases de datos. Obtenido del procesamiento de datos del PVSyst 7.3 en MS Excel.

Con estos datos se procedió a realizar una comparación con los resultados del Atlas de energía solar del Perú y se determinó el porcentaje de variación; esto para establecer cual base de datos utilizaremos para la estimación de generación fotovoltaica. Los resultados del cálculo de porcentaje de variación se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Porcentaje de variación de las bases de datos con el Atlas de energía solar del Perú

Base de datos	Meteonorm 8.1	NASA SEE (1983 - 2005)	PVGIS TMY 5.2	NREL / NSRDB	SENAMHI
Mes	Variación %				kWh/m ² /día
Enero	-2%	10%	-3%	-8%	6.25
Febrero	-6%	4%	-15%	-10%	5.75
Marzo	-8%	-2%	-7%	-10%	5.75
Abril	-4%	7%	-5%	-9%	5.75
Mayo	-7%	7%	-8%	-8%	5.25
Junio	-12%	6%	7%	-3%	4.75
Julio	-4%	17%	11%	3%	5.25
Agosto	5%	17%	7%	8%	5.75
Septiembre	6%	12%	3%	2%	6.25
Octubre	-2%	5%	-3%	-5%	6.25
Noviembre	-3%	5%	-8%	-8%	6.25
Diciembre	-1%	7%	-6%	-7%	6.25
Promedio Anual	-3%	8%	-3%	-5%	5.79

Nota. La tabla describe el porcentaje de variación de las bases de datos con el Atlas de energía solar del Perú. Obtenido del procesamiento de datos del PVSyst 7.3 en MS Excel.

Del análisis, las bases de datos que poseen el menor porcentaje de variación con respecto a los datos nacionales son las bases de datos Meteonorm 8.1 y PVGIS TMY 5.2, por lo que se volvió a hacer el cálculo con una versión anterior de cada base de datos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 11

Porcentaje de variación de las bases de datos finales con el Atlas de energía solar del Perú

Base de datos	Meteonorm 8.0 (2010 - 2014)	PVGIS TMY: SARAH, COSMO or NSRDB	SENAMHI
Mes	Variación %		kWh/m ² /día
Enero	1%	-6%	6.25
Febrero	-4%	-13%	5.75
Marzo	-5%	-9%	5.75
Abril	-4%	-7%	5.75
Mayo	-8%	-8%	5.25
Junio	-13%	4%	4.75
Julio	-4%	0%	5.25
Agosto	6%	2%	5.75
Septiembre	6%	-3%	6.25
Octubre	-1%	-5%	6.25
Noviembre	3%	-9%	6.25
Diciembre	2%	-2%	6.25
Promedio Anual	-2%	-5%	5.79

Nota. La tabla describe el porcentaje de variación de las bases de datos finales con el Atlas de energía solar del Perú. Obtenido del procesamiento de datos del PVSyst 7.2 en MS Excel.

Donde quien resultó con el menor porcentaje fue Meteonorm (8.0) por ese motivo tomamos los valores de éste como más cercanos a la realidad y válidos para realizar la estimación en el software; teniendo en cuenta que su porcentaje posee valor negativo, se encuentra subestimando en cierta medida los valores referidos por el Atlas, según Guzmán (2020) no habría complicación ya que en estos aspectos es preferible subestimar valores de radiación para el cálculo fotovoltaico.

La base de datos del Meteonorm 8.1 también incluye datos de temperatura de la ubicación determinada que serán utilizados en el cálculo, los cuales se presentan líneas abajo y se comparan con los datos de la ubicación de la CSF Rubí en la siguiente tabla.

Tabla 12

Datos de temperatura mensual del proyecto Lagunas PV y la CSF Rubí

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P. Lagunas PV	24.2	25.6	25.4	23.2	21.9	20.2	19.6	19.1	18.8	19.4	20.1	22.2
CSF Rubí	17.2	17.9	16.8	14.2	12	9.9	9	9.1	9.9	11.6	13.2	15.4

Nota. La tabla describe datos de temperatura mensual del proyecto Lagunas PV y la CSF Rubí. Obtenido del procesamiento de datos del PVSyst 7.3 en MS Excel.

Con la base de datos confirmada y los equipos previamente mencionados, ya seleccionados para la simulación, el software PVSyst 7.3 proporciona una caracterización de la matriz fotovoltaica previa a la simulación, la cual se presenta en la tabla 13 con respecto a los paneles solares y se procede a comparar con la CSF Rubí.

Tabla 13

Comparación de matriz fotovoltaica

Paneles solares	P. Lagunas PV	CSF Rubí
Tipo de paneles solares	JKM 320PP-72 (Plus)-V	Risen 320W
Potencia máxima	320 W	320W
Max potencia de voltaje	37.4 V	37.3V
Max potencia de corriente	8.56	8.6
Eficiencia del módulo	16.51%	16.50%
Celdas	Poli cristalinas 156.7 mm x 156.7 mm 72 celdas	Poli cristalinas 156 mm x 156mm 72 celdas (6 x 12)
Tem. Operativa de la celda	25°	-40° C ~ 85° C
Dimensiones	1956 x 992 x 40 (mm)	1956 x 992 x 40 (mm)
Peso	26.5 kg	24 kg
Número de PV módulos	451500 unidades	560880 unidades
Nominal (STC)	144.5 MW	144.48 MW

Nota. La tabla describe la comparación de matriz fotovoltaica de paneles solares entre el proyecto Lagunas PV y la CSF Rubí. Obtenido del procesamiento de datos del PVSyst 7.3 en MS Excel.

Con respecto a los inversores utilizados en la simulación del proyecto, el software también proporciona una matriz y se procede a comparar los datos con los de la CSF Rubí en la tabla 14.

Tabla 14
Comparación de matriz fotovoltaica

Inversores	P. Lagunas PV	CSF Rubí
Tipo de inversores	Generic Sunway TG 900 1500V TE - 660 EV	Fimer R11015TL
Potencia máxima	1028 kWac	1.091 kWac / 1.025 kWac
Voltaje de salida	1028 kva	400 VAC + -10%
Eficiencia máxima	98.7 %	98.90%
Peso	1770 kg	1530 kg
Dimensiones	2024x1025x2470 mm	1750 x 825 x 2237 mm
Temperatura operativa	25° C	-10° C +53° C
Número de inversores	164 unidades	164 unidades

Nota: La tabla describe la comparación de matriz fotovoltaica de inversores entre el proyecto Lagunas PV y la CSF Rubí. Obtenido del procesamiento de datos del PVSyst 7.3 en MS Excel.

Asimismo, se exponen los principales resultados de la simulación realizada con el PVSyst 7.3 en la siguiente tabla 15.

Tabla 15
Principales resultados de la simulación del proyecto Lagunas PV

Mes	Glob.Hor. (kWh/m ²)	Dif. Hor. (kWh/m ²)	T. Amb °C	Glob.Inc. (kWh/m ²)	Glob.Ef. (kWh/m ²)	E.Salida (kWh)	E.Red (kWh)	PR (ratio)
Enero	196.9	79.40	24.19	251.7	241.9	29643896	29157381	0.802
Febrero	171.7	75.91	25.6	215.4	207	25231455	24817263	0.798
Marzo	193.1	76.73	25.42	251.3	241.8	29375376	28896558	0.796
Abril	178.8	65.03	23.18	234.2	225.3	27855148	25352296	0.749
Mayo	175	60.04	21.85	231.8	222.4	27964785	27514826	0.822
Junio	161.1	54.21	20.16	215	206	26281103	25857063	0.832
Julio	169.9	56.97	19.61	227.4	218	27806292	27361213	0.833
Agosto	169.3	72.8	19.09	218.3	209.5	26680129	26245451	0.832
Septiembre	176.5	71.18	18.77	229.9	221.1	27820216	27352618	0.824
Octubre	198.6	84.16	19.41	259.3	249.6	31348630	30831504	0.823
Noviembre	192.5	74.74	20.09	250.4	240.8	30083507	29590856	0.818
Diciembre	195.1	81.76	22.24	248.5	238.5	29619163	24705820	0.688
Año	2178.6	852.91	21.61	2833.2	2721.9	339709702	327682849	0.801

Nota. La tabla describe los principales resultados de la simulación del proyecto Lagunas PV. Obtenido del procesamiento del PVSyst 7.3

De la simulación realizada adquirimos los valores expuestos en la tabla, donde cada uno de los puntos indican: Glob. Hor.: Irradiación horizontal global; Dif. Hor.: Irradiación difusa horizontal; T. Amb.: Temperatura ambiente; Glob. Inc.: kWh/m² global incidente en plano receptor; Glob. Ef.: kWh/m² global efectivo con correcciones para IAM (Pérdida de incidencia de matriz) y sombreados; E. Salida: MWh de energía efectiva a la salida del conjunto; E. Red: MWh de energía inyectada a la red; PR Ratio: Proporción de rendimiento.

Es importante mencionar las pérdidas aproximadas resultantes de la simulación de la generación fotovoltaica para su aprovechamiento. En la figura N° 2 se detalla un diagrama de pérdida producto de la simulación del proyecto en el software PVSyst 7.3. El diagrama parte de la irradiación horizontal global, a la cual se le suma la incidencia global en el plano receptor, y antes de tener la irradiación efectiva sobre colectores se tienen dos pérdidas: por el factor global IAM y por el factor de pérdida por suciedad.

Con la irradiación efectiva sobre los colectores, el software procede con la conversión fotovoltaica y se tiene la matriz de energía nominal (con la eficiencia de las condiciones de prueba estándar), a partir de ahí se tienen las pérdidas: por degradación del módulo (para el año N° 10), pérdida fotovoltaica debido al nivel de irradiación, pérdida fotovoltaica debido a la temperatura, por corrección espectral, pérdida de calidad del módulo, pérdida por desajuste de módulos y strings, y pérdida óhmica por cableado.

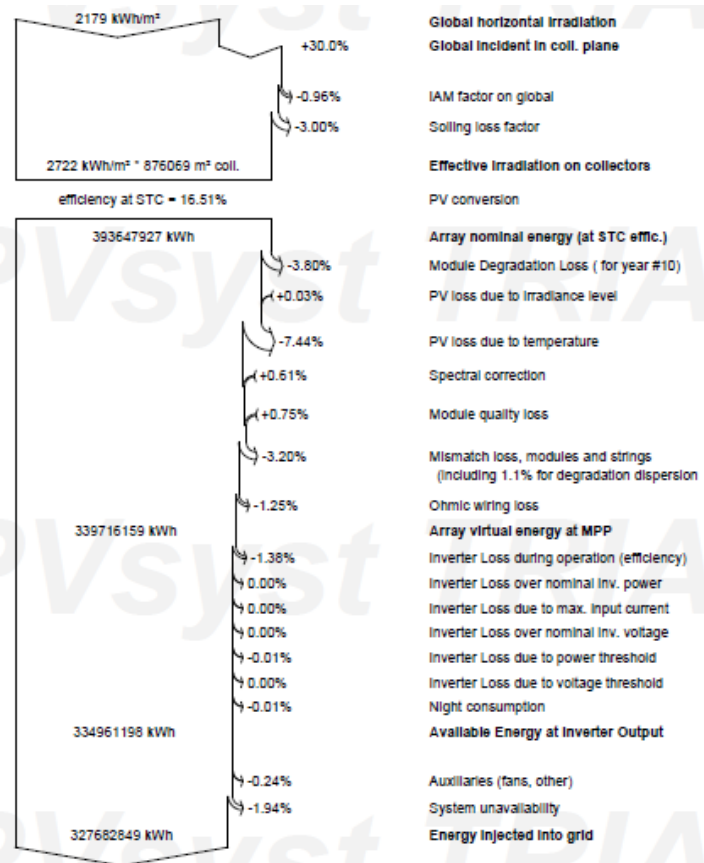
Con esas pérdidas el software obtiene la matriz de energía virtual en MPP (punto de máxima potencia) donde en su mayoría aplica pérdidas debido a los inversores: pérdida del inversor durante la operación (eficiencia), pérdida del inversor sobre la potencia nominal del mismo, pérdida del inversor debido a la máxima corriente de entrada, pérdida del inversor sobre voltaje nominal del mismo, pérdida del inversor debido al umbral de potencia, pérdida

del inversor por umbral de tensión y por último pérdida por consumo nocturno, siendo todas éstas mínimas, de esa manera alcanzando una energía disponible en la salida del inversor.

Teniendo ya la energía disponible en la salida del inversor, se contemplan pérdidas auxiliares (ventiladores, otros) y también por la indisponibilidad del sistema. Obtenemos finalmente la cantidad de energía que sería inyectada a la red.

Figura 2

Diagrama de pérdida de la simulación del proyecto



Nota. El gráfico es resultado de la simulación en el software PVSyst 7.3.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las limitaciones que se presentaron en la investigación fueron en primer lugar la disponibilidad y la calidad de los datos de radiación solar que fueron utilizados para la estimación ya que estos podrían estar condicionados a ciertas ubicaciones geográficas o pueden presentar lagunas temporales. Esto está ligado a la variabilidad espacial y temporal de la radiación solar, lo cual también es una limitación.

Con respecto a los hallazgos, estos se ven limitados por el modelo de la estimación, dado que se utilizó el software PVSyst quien se basa en modelos matemáticos y algoritmos para convertir los datos de radiación solar en energía fotovoltaica. De igual forma con la eficiencia de los paneles solares, pues esta se ve afectada por diversos factores, como la temperatura, la suciedad o el envejecimiento y puede introducir errores en las estimaciones. Las características del entorno también representan una limitación, puesto que son difíciles de modelar con precisión y siempre deben ser consideradas en las estimaciones.

En la investigación de Piotrowska (2017) se realiza la delimitación de un área disponible como actividad previa al dimensionamiento de la cantidad de módulos fotovoltaicos e inversores que serán utilizados para una generación fotovoltaica, resaltando la importancia de la misma; esta investigación se apoya de este enfoque y no se deja de lado la importancia de la delimitación, segmentando un área conveniente para realizar las actividades indicadas anteriormente guiándonos de las dimensiones de la CSF Rubí; en conclusión, a pesar de estimar a gran escala, de todas formas el área resultante de la delimitación es relativamente pequeña a comparación de la totalidad del área disponible, la cual claramente todavía está dispuesta a estudio, donde establecer ubicaciones adecuadas y estimaciones de aprovechamiento fotovoltaico.

En la investigación de Muñoz et al., (2019) luego analizar el porcentaje de variación de sus datos recopilados, toman los datos de la base de datos Meteonorm, a pesar de que también el porcentaje de variación de los valores difieren, pero en menor medida, con su modelo de referencia a comparar; en esta investigación también se realiza el análisis del porcentaje de variación con el Atlas de energía solar del Perú (modelo de referencia) y la base de datos cuyo porcentaje de variación es más aproximado también es la de Meteonorm; a fin de cuentas, indica que los valores que registra esta base de datos representan los más cercanos a la realidad en la región norte, por lo tanto se toman esos valores como válidos.

De la simulación realizada con los datos de la base de datos seleccionada, se estima que anualmente se tiene como radiación global incidente en el plano receptor 2833.2 kWh/m², concluyendo que son 876069 m² efectivamente cubiertos por los paneles solares, ya que debe mantener un espacio adecuado entre filas y columnas de strigns para evitar sombras (García y Peñate, 2016).

De esta manera los meses con mayor incidencia son: Octubre (259.3 kWh/m²), Enero (251.7 kWh/m²) y Marzo (251.3 kWh/m²), los cuales no siguen una tendencia directamente proporcional a la temperatura de los mismos, siendo los meses con mayor temperatura los conocidos de verano: Febrero (25.6°C), Marzo (25.4°C) y Enero (24.2°C); esto se debe a que el cálculo del software también tiene en cuenta un factor especial que otorga la base de datos, el cual es la turbidez linke, el número de atmósferas limpias y secas que se necesitan para obtener una atenuación observada de la radiación solar (Polo, 2010), donde valores cercanos a “1” corresponden a una atmosfera ideal de cielos despejados (Raichijk y Taddei, 2014), y según la base de datos la ubicación tiene 3.963 en promedio anual de factor de turbidez linke; Aceituno (2015) en su investigación también realiza una evaluación y cálculo

de la radiación solar donde considera como uno de los parámetros más importantes a la turbidez de linke; en conclusión, esta influye sustancialmente en la radiación que incide en un lugar y puede causar estas desproporciones en cuanto a temperatura y radiación incidente.

Asimismo en el área de estudio, este resultado puede deberse a que en el distrito existen periodos anómalos donde ocurre un desplazamiento nuboso debido a las esporádicas incursiones de la Zona de Convergencia Inter Tropical (coinciden los vientos alisios del hemisferio norte con los del hemisferio sur) lo cual limita la incidencia directa de la radiación solar; además de la ocurrencia de calentamiento oceánico en las costas, produciendo la formación de nubes convectivas de tormenta (Gobierno Regional de Lambayeque, 2017).

Del mismo modo en esas condiciones, se tiene estimada la cantidad de energía fotovoltaica anual que finalmente sería inyectada a la red, obteniendo lo correspondiente a 327682849 kWh y convertido a 327682.849 MWh. Teniendo los meses de mayor producción energética: Marzo (28896.558 MWh); Noviembre (29590.856 MWh) y Octubre (30831.504 MWh), los cuales siguen una tendencia directamente proporcional que corresponde a los meses con mayor incidencia de radiación; a excepción del mes de Enero, con alta incidencia solar y que a pesar de tener una alta producción (diferencia de los demás meses) no supera al mes de Noviembre. Estas diferencias de producción energética también son resultado de los cálculos con el factor de turbidez linke y las posibles condiciones climáticas anómalas antes explicadas, debido a que tiene relación directa con los datos de radiación incidente. La relación directamente proporcional se encuentra referenciada como a Fernández (2018) que en su investigación obtiene los mismos resultados de relación entre potencial de radiación y generación fotovoltaica.

También se concluye que la principal pérdida estimada de la cantidad de energía fotovoltaica convertida, es la pérdida debido a la temperatura, que representa un -7.44%, dado que esta influye en gran medida en los rendimientos eléctricos, el software lo determina mediante un balance de energía entre la temperatura ambiente y el calentamiento de la celda a causa de la irradiancia incidente (PVSyst, 2023); le sucede lo mismo a Muñoz et al., (2019) a quienes en el gráfico de pérdidas de su investigación se observa que el mayor porcentaje de pérdida es por motivos de temperatura. Otras pérdidas en menor medida significativas corresponden a pérdidas por degradación del módulo para el año 10 (-3.80%) y pérdidas de desajuste de módulos y strings (-3.20%), ambos debido a condiciones propias de los equipos seleccionados y las características que indican los fabricantes (PVSyst, 2023).

El proyecto Lagunas PV desarrollado en esta investigación posee según las estimaciones 876069 m² de terreno aproximadamente con 451500 módulos fotovoltaicos, una potencia instalada de 144.5 MW y una producción anual de 327.68 GWh. A comparación con la CSF Rubí que posee 4000000m² de terreno aproximadamente con 560880 módulos fotovoltaicos, una potencia instalada de 144.48 MW y una producción anual de 440 GWh; notamos que, a pesar de hacer la simulación de la generación eléctrica con la misma cantidad de potencia instalada en la CSF Rubí y modelos de componentes del sistema fotovoltaico de características muy equivalentes, no obtenemos resultados similares en cuanto a producción anual de GWh. Esto debido principalmente a la región geográfica donde se ubican ambos proyectos, además de las pérdidas y condiciones anteriormente descritas en ésta investigación. A pesar de la variación de los resultados de generación, éstos nos llevan a que finalmente el aprovechamiento de la cantidad de energía que puede producirse en la ubicación del proyecto Lagunas, es en gran medida viable.

Referencias

- Aceituno, J. (2015). *Evaluación del potencial solar para el aprovechamiento de la tecnología fotovoltaica en el estado de Chiapas a partir de imágenes de satélite* [Tesis de maestría, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. Repositorio UNICACH. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/712>
- Atarama, N. (2019). *Evaluación del potencial de energía solar para generación de energía eléctrica, como una alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles, en la región Piura* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio UNP. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1813>
- Blanco, J. y Pérez, E. (2009). La variación anual de los ángulos solares en la latitud de Santa Marta y su importancia local. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 38(1), 151-163.
- Caicedo, U., Caicedo, L., Muñoz, D., Pérez, Ó., Burbano, A., Cardona, J. y Rubiano, Ó. (2020). *Energía solar – Lean healthcare – Productividad*. [Tesis de maestría, Universidad Icesi]. Biblioteca Digital – Universidad Icesi. http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/86799
- Cantos, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. (1ª. ed.). Ediciones Paraninfo, S.A.
- Cañazaca, N., y Ramos, B. (2020). *Evaluación de oportunidades de aprovechamiento del potencial de la energía solar en la Región Puno* [Tesis, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de tesis Universidad Peruana Unión. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3320>
- Carlos, E., y Paganini, P. (2019). Energia Fotovoltaica e a Importância dos Módulos Fotovoltaicos. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 14(14), 22-26. <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2019v14n14p22-26>
- Castillo, T., Macarulla, A., Borges, C. y Alonso, A. (2018). Feasibility and simulation of a solar photovoltaic installation in DC for standalone services buildings. *DYNA*, 93(1), 24-30. <http://dx.doi.org/10.6036/8410>

- Cesar, E., y Scarduelli, G. (2019). Utilização de Energia Solar nas Indústrias. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 14(14), 06-08. <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2019v14n14p06-08>
- Enel Perú. (2018). *Rubí, energía solar para una nueva era. Planta Solar Rubí: la nueva era de la energía llegó al Perú*. <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/rubi-la-central-solar-de-enel-mas-grande-del-peru.html>
- Eke, R. (2020). *Reliability and Ecological Aspects of Photovoltaic Modules*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/books/reliability-and-ecological-aspects-of-photovoltaic-modules/pv-outdoor-tests>
- Espejo, C. y Aparicio, A. (2020). La Producción de Electricidad con Energía Solar Fotovoltaica en España en el Siglo XXI. *Revista de Estudios Andaluces*, 39, 66-93. <https://doi.org/10.12795/rea.2020.i39.04>
- Falayi, E. y Rabiou, A. (2012). *Solar Radiation Models and Information for Renewable Energy Applications*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/books/solar-radiation/solar-radiation-models-and-information-for-renewable-energy-applications>
- Farfán, J. y Campos, W. (2019). Energía solar fotovoltaica para la explotación de agua subterránea. *UCV-HACER*, 8(1), 65-74. <https://doi.org/10.18050/ucv-hacer.v8i1.1848>
- Fernández, J. (2018). *Factibilidad Técnica y Económica para la Instalación de Central Fotovoltaica de 2 Mw Conectado a la Red en la Provincia de Bellavista – San Martín*. [Tesis de título, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25295>
- García, P., y Peñate, R. (2016). *Implementación de un seguidor solar en eje horizontal controlado con hardware y software de libre distribución*. [Tesis de título, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional UES. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/11066>

- Gobierno Regional de Lambayeque. (2013). Mapa zonificación ecológica económica del departamento de Lambayeque [Temático]. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-zonificacion-ecologica-economica-departamento-lambayeque>
- Gobierno Regional de Lambayeque. (2017). Plan Regional de Acción Ambiental 2016-2021. <https://www.regionlambayeque.gob.pe/web/noticia/detalle/20456?pass=MTA2MQ>
- ==
- Guzmán, L. (2020). *Diseño de sistema fotovoltaico para abastecer energía eléctrica al sistema de bombeo del Fundo San José Sector Montegrando Reque – Chiclayo*. [Tesis de título, Universidad Cesar Vallejo] Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49537>
- Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, L. (2014). Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. *RH Sampieri, Metodología de la Investigación*, 22.
- López, J. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico para autoconsumo conectado a red en la Empresa Viettel Perú S.A.C. ubicado en Trujillo—La Libertad*. [Tesis de título, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/5494>
- Moura, T., Alcócer, J., Pinto, O., y Domingos, L. (2019). Geração de energia fotovoltaica: Análise comparativa entre rendimento no Brasil e Maputo em Moçambique. *Enciclopédia Biosfera*, 16(29), 2344-2359. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2019A179
- Müggenburg V., y Pérez, I. (2007). Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa. *Enfermería Universitaria*, 4(1). <https://doi.org/10.22201/eneo.23958421e.2007.1.469>
- Municipalidad Provincial de Chiclayo. (2010). “Modernización de la Gestión del Desarrollo Urbano de la Provincia de Chiclayo” - Plan de Acondicionamiento Territorial PAT 2011 – 2021. <https://www.miciudad.pe/wp-content/uploads/PLAN-ACONDICIONAMIENTO-TERRITORIAL-CHICLAYO.pdf>

- Muñoz, Y., Acebedo, G. y Santamaría, J. (2019). Evaluación del potencial de energía solar en Santander, Colombia. *Prospectiva*, 17(2), Article 2. <https://doi.org/10.15665/rp.v17i2.1645>
- Niño, J. (2020). *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para disminuir el consumo de energía eléctrica convencional en la empresa Exotic's Producers & Packers*". [Tesis de título, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/8373>
- Ocampo, R. (2020). *Viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo de agua utilizando energía solar en el fundo Manto de Cristo perteneciente al sector Chaparri distrito de Chongoyape provincia de Chiclayo—Lambayeque* [Tesis de título, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/8744>
- Osinermin. (2020). Centrales de generación eléctrica con recursos energéticos renovables. *Proyectos de Centrales de Generación Eléctrica con Recursos Energéticos Renovables (RER)*. https://issuu.com/osinermin/docs/compendio_proyectos_generacion_rer/1
- Padilla, A., Sarango, E., Chamba, S. y Jiménez, M. (2022). Diseño e implementación de un seguidor solar para aumentar el rendimiento de generación. *Polo del conocimiento*, 7(4), 232–263.
- Pelayo, J., Sedano, C. y Rojano, R. (2020). Sistema de seguimiento solar de un eje para aumentar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos bajo distintas condiciones climáticas. *Ingeniería*, 24-3(11-23).
- Perpiñán, O. (2023). *Energía Solar Fotovoltaica*. Creative Commons. <https://github.com/oscarperpinan/esf>
- Piotrowska, J. (2017). The Photovoltaic Installation Application in the Public Utility Building. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 24(4), 517-538. <https://doi.org/10.1515/eces-2017-0034>

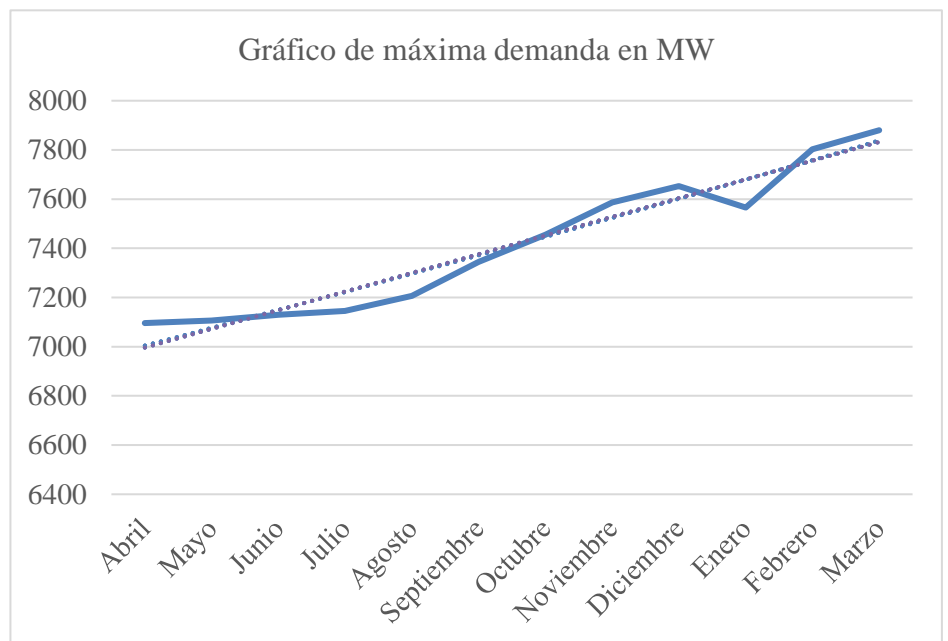
- Polo, J. (2010). *Optimización de modelos de estimación de la radiación solar a partir de imágenes de satélite*. [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio Institucional de la UCM. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=91510>
- Potes, P., y Proaño, X. (2020). Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi. *Revista Técnica «energía»*, 16(2), 148-157. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.362>
- PVSyst (Versión 7.3) [Software Fotovoltaico]. (2023). Ginebra: Wegenève. Recuperado de <https://www.pvsyst.com>
- Raichijk, C., y Taddei, F. (2014). *Cartas del índice de turbidez de Linke para la Pampa Húmeda Argentina*. [Acta de la XXXVII] Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Buenos Aires, Argentina.
- Rodríguez, F. (2007). Generalidades acerca de las técnicas de investigación cuantitativa. *Paradigmas: Una Revista Disciplinar de Investigación*, 2(1), 9-39.
- Roedel, T., y Mafra, G. (2019). Viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico: Estudo de caso em uma escola de idiomas, de Brusque - SC. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 15(37), Article 37. <https://doi.org/10.3895/rts.v15n37.9806>
- Roldán, J. (2012). *Estudios de viabilidad de instalaciones solares. Determinación del potencial solar*. Editorial Paraninfo.
- Schmerler, D., Velarde, J., Rodríguez, A. y Solís, B. (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Osinergmin. Lima-Perú. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*. https://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

- Soares, F., Forcelli, I., Bernardo, A. y Samara, I. (2022). *Protótipo de um sistema seguidor de luz para painel solar*. [Conversão Fotovoltaica - Controle e monitoramento de sistemas fotovoltaicos]. VII Congresso brasileiro de educação em engenharia <https://doi.org/10.37702/cobenge.2022.4043>
- Vásquez, A., Tamayo, J. y Julio S. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Osinergmin. Lima-Perú. [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf)
- Van Campen, B., Guidi, D., y Best, G. (2000). *Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles*. FAO. <http://www.fao.org/uploads/media/Solar%20photovoltaic%20for%20SARD%20ES.pdf>
- Valdés, G., Rodríguez, E., Miranda, C., y Lillo, J. (2020). Estudio de viabilidad de sistemas fotovoltaicos como fuentes de energía distribuida en la ciudad de Arica, Chile. *Información tecnológica*, 31(3), 249-256. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300249>
- Villarreal, J., Medrano, G., Martínez, H. y Pérez, A. (2022). Análisis de viabilidad de seguidor solar hidráulico. *Brazilian Journal of Development*, 8(12), 80491–80504. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-244>
- Whiting, K., Carmona A. y Castellot, P. (2014). Aplicación de la energía solar fotovoltaica interconectada a la red eléctrica. *Caso de estudio Thierhaupten-Alemania-*. *Revista Ontare*, 2(2), 145-170. <https://doi.org/10.21158/01208160.n2.2014.1245>
- Zaidi, B. (2018). *Introductory Chapter: Introduction to Photovoltaic Effect*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/books/solar-panels-and-photovoltaic-materials/introductory-chapter-introduction-to-photovoltaic-effect>

Anexos

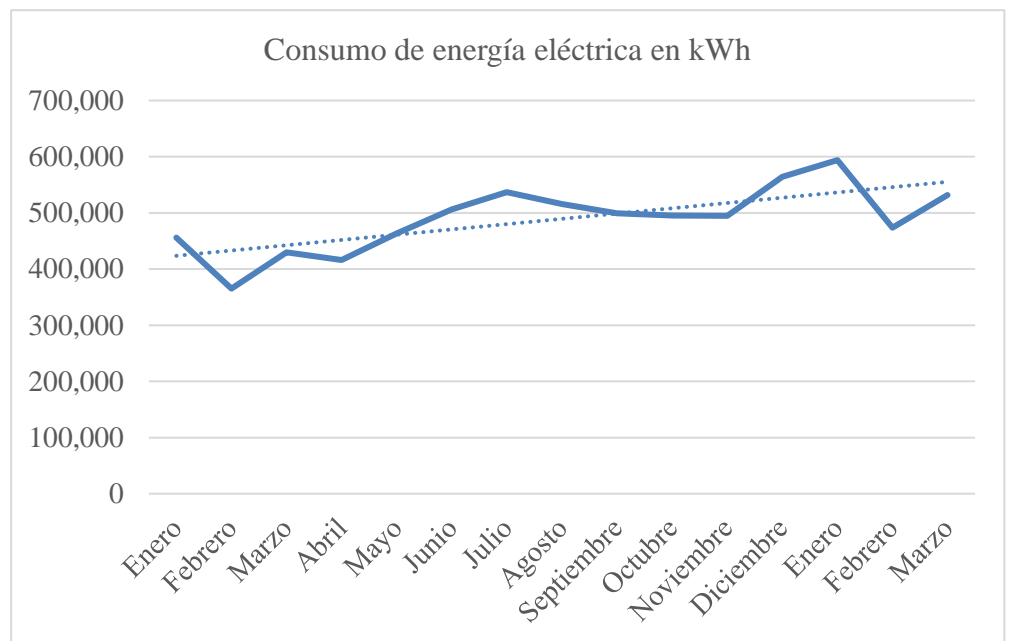
ANEXO N° 1. Gráfico de máxima demanda energética nacional mensual.

Mes	Demanda MW
Abril	7096
Mayo	7106
Junio	7130
Julio	7145
Agosto	7206
Septiembre	7344
Octubre	7455
Noviembre	7587
Diciembre	7653
Enero	7566
Febrero	7802
Marzo	7880



ANEXO N° 2. Gráfico de consumo de energía del distrito de Lagunas kWh.

Mes	Consumo de energía eléctrica Kwh
Enero	455,772
Febrero	365,143
Marzo	429,810
Abril	415,930
Mayo	463,094
Junio	506,010
Julio	536,836
Agosto	515,519
Septiembre	499,047
Octubre	495,030
Noviembre	494,751
Diciembre	564,342
Enero	593,930
Febrero	473,503
Marzo	531,982



ANEXO N° 3. Mapa de Zonificación Ecológica Económica del departamento de Lambayeque.

