

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



**“EVALUACIÓN POTENCIAL FOTOVOLTAICO EN LOS TECHOS DE LAS
EDIFICACIONES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA, DISTRITO CHACHAPOYAS, 2023”**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

CARLOS DIAZ JHON ANTHONY

Tingo Maria – Perú, 2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 118-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 26 de agosto de 2024, a horas 11:15 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“EVALUACIÓN POTENCIAL FOTOVOLTAICO EN LOS TECHOS DE LAS EDIFICACIONES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA, DISTRITO CHACHAPOYAS, 2023”

Presentado por el Bachiller: **JHON ANTHONY CARLOS DIAZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 20 de diciembre de 2024

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
PRESIDENTE

Ing. MSc. JUAN P. RENGIFO TRIGOZO
MIEMBRO



Ing. MSc. MARCO A. DUEÑAS TUESTA
MIEMBRO

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
ASESOR



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 061 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACIÓN POTENCIAL FOTOVOLTAICO EN LOS TECHOS DE LAS EDIFICACIONES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA, DISTRITO CHACHAPOYAS, 2023	CARLOS DIAZ JHON ANTHONY	17 % Diecisiete

Tingo María, 24 de febrero de 202519

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



“EVALUACIÓN POTENCIAL FOTOVOLTAICO EN LOS TECHOS DE LAS
EDIFICACIONES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA, DISTRITO CHACHAPOYAS, 2023”

Autor	: Bach. Carlos Díaz, Jhon Anthony
Asesor(es)	: Dr. Lucio Manrique De Lara Suarez
Programa de investigación	: Ciencias básicas
Línea de investigación	: Geofísica
Eje temático	: Influencia de la radiación solar sobre la tierra
Lugar de ejecución	: Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza.
Duración de programa	: 6 meses
Financiamiento	: S/ 410.00
FEDU	: No
Propio	: No
Otros	: No

Tingo Maria – Perú, 2024



ASESOR

DEDICATORIA

Dedico el siguiente trabajo a mis tíos, pepe Heredia y Georgina Diaz y a mi madre por su paciencia y su amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque su gran poder es mi apoyo, ciertamente su bondad y su amor inagotable me seguirán todos los días de mi vida, y para siempre viviré donde Él vive.

A mi familia por sus oraciones, amor, fuerza y entrega. Por darme tanto y amarme aún más.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Objetivo general	2
1.2.	Objetivos específicos	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	Potencial fotovoltaico	3
2.1.1.	Mercado potencial de la tecnología fotovoltaica	3
2.2.	Sistemas de energía fotovoltaica	5
2.2.1.	Tipos de sistemas solares fotovoltaicos convencionales	5
2.2.2.	Tipos de sistemas fotovoltaicos alternativos	5
2.3.	Importancia del sistema de energía fotovoltaico	6
2.3.1.	Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero	6
2.4.	Energía fotovoltaica en techos o tejados	6
2.4.1.	Instalación de energía fotovoltaica para generación distribuida	6
2.4.2.	Aplicaciones de la integración solar fotovoltaica en edificios	6
2.5.	La radiación solar	7
2.5.1.	Generación de la radiación solar	7
2.5.2.	Distribución espectral de la radiación solar	7
2.6.	Normativa de las energías renovables en el Perú	8
2.6.1.	Ley de Concesiones Eléctricas (Ley N° 25844)	8
2.6.2.	Ley Marco de Electrificación Rural (Ley N° 29852)	8
2.6.3.	Ley de Promoción del Desarrollo de Fuentes de Energía Renovable No Convencional en el Perú (Ley N° 27133)	8
2.6.4.	Ley de Promoción de la Inversión en la Generación Eléctrica con Energías Renovables (Ley N° 28652)	8
2.6.5.	Reglamento de la Ley Marco de Electrificación Rural (Decreto Supremo N° 025-2007-EM)	9

2.6.6. Política Energética Nacional al 2030 (Resolución Ministerial N° 215-2007-MEM/DM)	9
2.7. Sistemas de Información geográfica.....	9
2.8. Antecedentes.....	10
2.8.1. Antecedente Internacional	10
2.8.2. Antecedente Nacional.....	11
2.8.3. Antecedente Local	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Lugar de ejecución.....	15
3.1.1. Ubicación política.....	15
3.1.2. Ubicación geográfica.....	15
3.1.3. Características climáticas del área de estudio.....	15
3.1.4. Criterio y análisis de estudio	16
3.2. Material y métodos	16
3.2.1. Materiales y equipos.....	16
3.2.2. Metodología.....	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Cálculo de la superficie total disponible en los techos de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.	32
4.2. Determinación de la radiación solar para el área útil calculada.	36
4.3. Determinación del posible potencial fotovoltaico para las condiciones específicas de la (UNTRM) a lo largo de un año.	37
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. RECOMENDACIONES	41
VII. REFERENCIAS	42
VIII. ANEXOS.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Mercado fotovoltaico mundial	4
2. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo.	6
3. Coordenadas UTM del datum WGS-84, zona 18.....	15
4. Criterios para la identificación de techos adecuados para la ubicación de paneles solares..	22
5. Parámetros para la creación de la capa pendiente	22
6. Parámetros para la creación de la capa orientación.....	23
7. Parámetros para la eliminación de áreas con pendientes pronunciadas	23
8. Parámetros para la eliminación de áreas orientadas al sur	26
9. Parámetros para el agregado de celdas por edificio	27
10. Datos de tabla para el agregado de celdas por edificio.....	27
11. Valores para el agregado de celdas por edificio	28
12. Superficie total.....	34
13. Radiación Solar de cada edificio disponible para la instalación de paneles solares.....	37
14. Posible energía o potencial fotovoltaico producida en la UNTRM.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Enfoque PPK y RTK del UAS DJI-P4RTK adaptado (Taddia, Stecchi, and Pellegrinelli 2020; Losè, Chiabrandò, and Tonolo 2020)	17
2. Mapa de pendiente.....	32
3. Mapa de orientación.	33
4. Áreas disponibles para instalación fotovoltaica.	35
5. Equipos para vuelo fotogramétrico.....	46
6. Vuelo Fotogramétrico.....	46

RESUMEN

Actualmente, la política mundial exige la implementación de fuentes de energía alternativas, y el Perú no es ajeno a esto. Sin embargo, en muchas ocasiones sucede que las personas responsables de tomar decisiones, no se arriesgan a probar nuevas tecnologías ya que la información es muy reducida con respecto a la cantidad de energía que podría obtenerse usando energía renovable no convencional como la energía solar. Es por ello que se evalúa el potencial fotovoltaico en los techos de las edificaciones de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), Chachapoyas 2023. En este contexto, esta investigación desarrolló un análisis geoespacial con el software ArcGIS Pro para estimar el potencial fotovoltaico en las edificaciones de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM). Para poder realizar los mapas temáticos del potencial fotovoltaico se tomó en cuenta tres parámetros: pendiente, radiación y orientación. De acuerdo con los resultados obtenidos la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza cuenta con 35 278.366 m² de área disponible para la instalación de paneles solares, 46 050 262.68 megavatios-hora (MWh) de radiación solar lo cual llegaría a generar 5 940 483.87 megavatios-hora (MWh) de potencial fotovoltaico. Se concluye que el potencial fotovoltaico o energía eléctrica en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza posiblemente llegaría a ser de 5 940 483.87 megavatios-hora (MWh) si se realiza la instalación respectiva de paneles solares en el área estudiada.

Palabras clave: sistemas fotovoltaicos, SIG, potencial fotovoltaico, modelo geográfico

ABSTRACT

Currently, world politics demands the implementation of alternative energy sources, and Peru is no stranger to this. However, it often happens that decision makers do not take the risk of trying new technologies because the information is very limited with respect to the amount of energy that could be obtained using non-conventional renewable energy such as solar energy. For this reason, the photovoltaic potential on the roofs of the buildings of the National University Toribio Rodriguez de Mendoza (UNTRM), Chachapoyas 2023, is evaluated. In this context, this research developed a geospatial analysis with ArcGIS Pro software to estimate the photovoltaic potential in the buildings of the National University Toribio Rodriguez de Mendoza (UNTRM). In order to make the thematic maps of the photovoltaic potential, three parameters were taken into account: slope, radiation and orientation. According to the results obtained, the Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza has 35,278,366 m² of available area for the installation of solar panels, 46,050,262.68 megawatt-hours (MWh) of solar radiation, which would generate 5,940,483.87 megawatt-hours (MWh) of photovoltaic potential. It is concluded that the photovoltaic potential or electrical energy at the Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza could possibly reach 5,940,483.87 megawatt-hours (MWh) if the respective installation of solar panels in the studied area is carried out.

Keywords: photovoltaic systems, GIS, photovoltaic potential, geographic model

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la energía fotovoltaica es una de las tecnologías de energía renovable más importantes del mundo. Por tanto, su tasa de crecimiento anual la convierte en la primera fuente de energía renovable debido a su baja complejidad de instalación y procesamiento, (Moa, 2023). El Perú actualmente cuenta con 8 centrales de energía fotovoltaicas por casi 2 gigavatios (GW), que abarca desde pequeñas instalaciones residenciales hasta grandes proyectos de plantas de energía solar, curiosamente, los avances en este último caso han contribuido al desarrollo tecnológico y la difusión de esta, Pontificia Universidad Católica del Perú (Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP, 2017).

En un futuro próximo, el suministro de energía a edificios y ciudades deberían realizarse mediante fuentes de energía renovables para que el impacto del calentamiento global sea inferior al límite de 2°C, la tecnología que mejor refleja esta tendencia es la energía solar fotovoltaica, la capacidad a nivel mundial de generación de energía fotovoltaica aumentó de 40 GW en 2010 a 219 GW en 2015, lo que representa aproximadamente el 20 % de toda la nueva capacidad de generación de energía, asimismo reducciones drásticas de costos han llevado a un rápido crecimiento en nuevos mercados, (Internacional Renewable Energy Agency - IRENA, 2017). La disponibilidad y facilidad de instalación de los techos no construidos, así como por el desarrollo tecnológico y la continua disminución del precio de los paneles solares, la optimización de este tipo de sistemas requiere cálculos precisos de la utilidad (potencial solar en el techo) y un diseño inteligente de sistemas para integrarlos en la red.

Actualmente se ha demostrado que la evaluación basada en sistemas de información geográfico (SIG) es un método prometedor para evaluar el potencial de las instalaciones solares en los techos, en particular la posibilidad de combinar SIG con LIDAR (detección y rango de iluminación) para crear un método sólido que permita cálculos rigurosos. El análisis clasifica las técnicas basadas a SIG en topografía, geoestática, modelado y aprendizaje automático utilizado a diferentes escalas.

El Perú es un país que no es ajeno a la demanda de energía eléctrica ya que en los últimos años se ha incrementado significativamente el consumo de esta (Narciso, 2021). Lo cual conlleva a usar las reservas de petróleo, lo que es altamente contaminante (Shahbaz, 2021); así mismo, la comercialización de los hidrocarburos y la dependencia hacen que los precios sean elevados lo que afecta en mayor parte a la población de bajos recursos (Rojas, 2014).

En esa perspectiva se formula la siguiente pregunta: ¿Cuál es el potencial fotovoltaico que se requiere en los techos de las edificaciones de la universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, distrito Chachapoyas, 2023?

El trabajo se justifica realizando una evaluación del potencial fotovoltaico a través de SIG ya que se acercan a la posibilidad espacial y temporal a gran escala de los futuros sistemas de energía utilizando redes distribuidas. Asimismo, los resultados de la evaluación se utilizan para proponer políticas eficaces promoviendo la adhesión de la energía fotovoltaica en los techos de los espacios edificados. Sin embargo, el desarrollo de un enfoque completamente nuevo para integrar SIG con el aprendizaje automático para proporcionar capacidades sólidas y menos exigentes desde la perspectiva de los métodos basados en LiDAR será de gran ayuda para evaluar el potencial de las instalaciones solares en techos a gran escala.

En tal sentido la investigación logró constatar la hipótesis “que sí existe potencial fotovoltaico en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), distrito Chachapoyas, 2023”, por lo que trabajamos con los siguientes objetivos.

1.1. Objetivo general

Evaluar el potencial fotovoltaico de los techos en edificaciones de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), distrito Chachapoyas, 2023.

1.2. Objetivos específicos

- Calcular la superficie total disponible en los techos en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM).
- Determinar la radiación solar para el área útil calculada.
- Determinar el potencial fotovoltaico para las condiciones específicas de la (UNTRM) a lo largo de un año.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Potencial fotovoltaico

El potencial de la energía fotovoltaica sigue sin explotar. Muchos expertos están estudiando las posibilidades de la energía solar y su implementación en las industrias más exigentes. Ya que energía fotovoltaica es uno de los suministros de energía renovables más prometedoras en el sector residencial. La unidad básica de producción de energía fotovoltaica es la célula solar, que es el componente de las células fotovoltaicas que transforma la luz del sol en electricidad. Los módulos fotovoltaicos constan de varios paneles solares enlazados en serie o en paralelo. Esta tecnología nos permite utilizar la radiación solar que llega al suelo para producir electricidad limpia que no hace ruido ni emite gases nocivos, volviéndola amigable con nuestro medio ambiente, (Guarachi, García & Jofré; 2016).

Masson & Bosch (2022), señalan que la energía solar es una pieza esencial en la transición hacia una matriz energética sostenible, ya que los avances en las tecnologías de energía renovable son evidentes. En las últimas décadas, la energía fotovoltaica ha evolucionado desde una tecnología de nicho utilizada principalmente para generar electricidad en ubicaciones o lugares remotos hasta convertirse en una fuente de energía convencional.

2.1.1. Mercado potencial de la tecnología fotovoltaica

Masson & Bosch (2022), mencionan que durante los últimos 15 años la tecnología de células solares ha mostrado un creciente crecimiento en el mercado debido al desarrollo tecnológico y los bajos precios.

2.1.1.1. Mercado potencial a nivel internacional

Según (INRENA, 2017), Photovoltaic Power Systems Programme (IEA-PVPS), el mercado fotovoltaico mundial creció significativamente en el 2021, debido a la instalación de 175 GW de sistemas fotovoltaicos a nivel mundial, lo que generó una capacidad total de energía fotovoltaica acumulada de 942 GW a fines del 2021 (Masson & Bosch, 2022).

Según Masson & Bosch (2022), La producción de electricidad fotovoltaica cubre alrededor del 5% de las necesidades eléctricas del mundo. Australia, España, Grecia, Honduras, Países Bajos, Chile y Alemania tienen suficiente capacidad de producción de energía solar que, en teoría, puede cubrir más del 10% de sus necesidades eléctricas anuales.

Los diez principales países representan aproximadamente el 74% del mercado solar anual mundial, incluidos cinco países de Asia Pacífico (Australia, China, India, Japón, Corea del Sur), 3 países europeos (Alemania, España y Francia), (Masson & Bosch, 2022).

Tabla 1. Mercado fotovoltaico mundial

Países a nivel mundial	Instalación 2021	Aumento interanual
	120 GW	Porcentaje (%)
China	54,9 GW	
EE. UU.	26,9 GW	
Unión Europea	26,8 GW	
Alemania	5,3 GW	
España	4,9 GW	
Francia	3,4 GW	
Países bajos	3,3 GW	
Polonia	3,3 GW	
Grecia	1,2 GW	
Italia	944 MW	24%
Bélgica	850 MW	
Resto de Europa	3 GW	
India	13 GW	
Japón	6,5 GW	
Brasil	5,5 GW	
Australia	4,6 GW	
Corea	4,2 GW	
México	1,8 GW	
Taiwán	2 GW	
Pakistán	2 GW	

Fuente: Masson & Bosch (2022)

2.1.1.2. Mercado potencial a nivel nacional (Perú)

Las zonas del Norte y Sur del Perú tienen la mayor capacidad para la generación de energía eléctrica a través de paneles solares. Ya que, a septiembre de 2019, se habían completado 19 proyectos con instalación de paneles solares en zonas rurales con un financiamiento de 170,4 millones de soles, en donde los beneficiarios fueron 18 mil viviendas entre Ancash, Apurímac, Cajamarca, Cusco, Madre de Dios, Piura y Puno. (Espinoza, 2020).

En octubre de 2020, gracias a los avances tecnológicos, se completó la Planta de Energía Solar Atalaya, asimismo es la primera microrred solar inteligente del país que consta de 1 260 paneles solares y puede producir 650 000 kWh de energía eléctrica limpia y segura para los residentes de Ucayali cada año, (Espinoza, 2020).

2.2. Sistemas de energía fotovoltaica

Heath & Bilbao (2021), mencionan que los sistemas solares de tejado con una capacidad de generador máxima media europea de 3 kWp pueden producir hasta 1 kW de electricidad, produciendo 975 kWh/kWp al año.

2.2.1. Tipos de sistemas solares fotovoltaicos convencionales

2.2.1.1.Sin conexión a la red (aislados)

Estos sistemas no están conectados a una red y suelen utilizarse en zonas remotas donde no hay acceso a la red, como cabañas, villas o campings. Estos sistemas dependen únicamente de la electricidad producida por paneles solares y, a menudo, incluyen baterías para almacenar energía para usarla cuando no brilla el sol (Solarama, 2019).

2.2.1.2.Conectados a la red eléctrica (autoconsumo)

Estos sistemas están diseñados para su uso con redes eléctricas convencionales. La energía generada por los paneles solares se utiliza primero para alimentar cargas eléctricas en el sitio, y cualquier exceso de energía puede enviarse a la red, generalmente utilizando medidores bidireccionales que registran la energía consumida y la energía suministrada a la red. En algunos casos, puedes obtener créditos por el exceso enviado a la red, lo que puede reducir tu factura de electricidad, (Solarama, 2019)

2.2.2. Tipos de sistemas fotovoltaicos alternativos

2.2.2.1.Sistemas Fotovoltaicos de Concentración

Son una alternativa a los sistemas tradicionales. En lugar de utilizar una gran cantidad de paneles fotovoltaicos, los sistemas CPV utilizan una serie de lentes ópticas o espejos curvos para enfocar la luz solar en un punto focal donde se colocan módulos solares más pequeños.

Estos sistemas pueden aumentar la tasa de conversión de energía hasta en un 30 % y la eficiencia energética de los módulos individuales mejora significativamente, lo que reduce el área requerida para estos sistemas (Solarama, 2019).

2.2.2.2.Sistemas fotovoltaicos flotantes

Se trata de una nueva tecnología en la que los módulos solares se colocan sobre estructuras flotantes, principalmente en lagos y zonas costeras.

La instalación de tales sistemas abre nuevas oportunidades para aumentar la capacidad de producción de energía en países con alta densidad de población y competencia por el uso de la tierra disponible, (Solarama, 2019).

2.3. Importancia del sistema de energía fotovoltaico

2.3.1. Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero

Según Heath & Bilbao (2021), Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los paneles solares de los tejados suizos están mostrando una reducción gracias a una mayor eficiencia y mejores procesos de fabricación.

Tabla 2. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo.

	Unidad	1996	2003	2007	2014	2016	2020	2021
Gases de efecto invernadero	G CO ₂ eq/kWh	121	75	76	80	107	43	43
Eficiencia	%	13,6	14,8	14	14	15,1	19,5	20
Rendimiento	kWh/a	862	882	922	922	882	976	976

Fuente: Heath & Bilbao (2021)

2.4. Energía fotovoltaica en techos o tejados

La energía fotovoltaica en techos o tejados, también conocida como energía solar fotovoltaica distribuida, es una forma popular de aprovechar la energía solar para generar electricidad a nivel local.

2.4.1. Instalación de energía fotovoltaica para generación distribuida

2.4.1.1. Pérdida de energía por criterio de inclinación y orientación

Se eliminan las zonas que tienen una pendiente superior a 45 grados. Todas las capas ráster utilizan la misma cuadrícula de celdas. Para que pueda comparar la radiación solar y los valores de pendiente, (ArcGIS, Learn, 2020).

En la herramienta Evaluación condicional, cree una expresión que verifique si cada valor de pendiente es menor o igual a 45°. En caso de que la celda tenga pendiente mayor a 45° su valor será NoData. Como resultado se obtiene una capa de radiación solar rasterizada, excepto en pendientes superiores a 45 grados, (ArcGIS, Learn, 2020).

Los techos de los edificios no deben estar orientados al norte. Porque estos tienden a recibir menos radiación solar, a diferencia de las superficies que se encuentran orientadas en otras direcciones.

2.4.2. Aplicaciones de la integración solar fotovoltaica en edificios

La integración solar fotovoltaica en edificios es una forma innovadora de aprovechar la energía solar para generar electricidad mientras se integra estéticamente en la arquitectura del edificio. Aquí hay algunas aplicaciones comunes de la integración solar fotovoltaica en edificios:

- Techos Solares
- Fachadas Solares
- Ventanas Solares
- Pérgolas Solares y Toldos
- Cubiertas Solares para Aparcamientos
- Elementos Arquitectónicos Integrados
- Sistemas de Ventilación y Refrigeración Solar

2.5. La radiación solar

Es la suma de las radiaciones electromagnéticas expulsadas por la luz del sol. Asimismo, el comportamiento del sol es como un cuerpo negro y expulsa energía a unos 6000 K según la ley de Planck. Estas radiaciones emitidas por el sol se distribuyen desde la radiación infrarroja hasta la ultravioleta. Las radiaciones que no llegan a la superficie de la Tierra se da gracias a los gases de la atmósfera (principalmente el ozono) que absorben rayos UV en cantidades menores. La cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la Tierra se llama irradiancia en donde mide la energía que llega al suelo por unidad de tiempo y unidad de área que es representado por W/m^2 (vatio x metro cuadrado), (Santos, 2020).

2.5.1. Generación de la radiación solar

La generación de la radiación solar es un proceso fundamental que comienza con la fusión nuclear en el núcleo del Sol y culmina con la emisión de energía desde la fotosfera. Esta radiación es esencial para la vida en la Tierra y tiene un impacto significativo en el clima, la energía y la salud humana. La medición y el entendimiento de la irradiancia solar son esenciales para aprovechar al máximo esta fuente de energía y proteger nuestro entorno. La superficie de la fotosfera está formada por una gran cantidad de partículas brillantes que son fabricado con células de convección, (Santos, 2020).

2.5.2. Distribución espectral de la radiación solar

Aplicando la ley de Planck al Sol, que tiene una temperatura superficial de aproximadamente 6000 K, significa que el 99% de la radiación emitida tiene longitudes de onda entre 0,15 micras y 4 micras. Dado que $1 \text{ angstrom } 1 \text{ A} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-6} \text{ micrones}$, la radiación solar oscila entre 1500 A y 4000 A. La visibilidad de la luz oscila entre 4.000 A y 7.000 A. La ultravioleta o de onda corta oscila entre 1.500 A y 4.000 A y la infrarroja o de onda larga oscila entre 0,74 micras y 4 micras.

La atmósfera terrestre forma un filtro importante: debido a la fuerte absorción de ozono y oxígeno, no se pueden observar radiaciones con longitudes de onda inferiores a 0,29 micrones. Ello te protegerá de la radiación UV más dañina, (Santos, 2020).

2.6. Reglamento de las energías renovables en el Perú

La constitución política del Perú faculta al poder ejecutivo para adoptar leyes bajo ciertas condiciones para facilitar la implementación del acuerdo de promoción comercial con el Perú, en ciertas materias permite mejorar el marco legal, fortalecer las instituciones, modernizar el país, promoción de inversiones privadas, promoción de tecnología, fortalecimiento de la innovación y sistemas de gestión ambiental.

Esta medida regulatoria traerá beneficios adicionales, como la introducción de una regulación que fomente la inversión privada, elimine las barreras a las actividades energéticas, proteja el medio ambiente a través de la producción de energía limpia y promueva impactos positivos a nivel global y en todo el mundo. Al mismo tiempo, la economía peruana debe alcanzar un nivel mínimo de desarrollo, lo que requiere una mayor seguridad del suministro energético.

Hasta mi última actualización en enero de 2022, Perú ha promulgado varias leyes y regulaciones relacionadas con las energías renovables para fomentar su desarrollo y promover la diversificación de la matriz energética del país. Algunas de las normativas relevantes incluyen:

2.6.1. Ley de Concesiones Eléctricas (Ley N° 25844)

Esta ley establece el marco legal para el otorgamiento de concesiones eléctricas en el país, incluyendo aquellas relacionadas con la generación de energía renovable.

2.6.2. Ley Marco de Electrificación Rural (Ley N° 29852)

Esta ley tiene como objetivo principal promover el acceso a la electricidad en zonas rurales, incluyendo el uso de energías renovables para este fin.

2.6.3. Ley de Promoción del Desarrollo de Fuentes de Energía Renovable No Convencional en el Perú (Ley N° 27133)

Esta ley busca promover la inversión en proyectos de energía renovable no convencional, como la solar, eólica, biomasa, geotérmica, entre otras.

2.6.4. Ley de Promoción de la Inversión en la Generación Eléctrica con Energías Renovables (Ley N° 28652)

Esta ley establece incentivos y beneficios para la inversión en proyectos de generación eléctrica utilizando fuentes de energía renovable.

2.6.5. Reglamento de la Ley Marco de Electrificación Rural (Decreto Supremo N° 025-2007-EM)

Este reglamento establece disposiciones específicas para la implementación de la Ley Marco de Electrificación Rural, incluyendo aspectos relacionados con el uso de energías renovables.

2.6.6. Política Energética Nacional al 2030 (Resolución Ministerial N° 215-2007-MEM/DM)

Esta política establece lineamientos generales para el desarrollo del sector energético en el país, incluyendo la promoción de las energías renovables.

2.7. Sistemas de Información geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas poderosas y versátiles que permiten el análisis y la visualización de datos geoespaciales, apoyando la toma de decisiones informadas en una variedad de campos. Con el avance de la tecnología, los SIG continúan evolucionando, ofreciendo nuevas capacidades y aplicaciones para abordar desafíos complejos relacionados con la geografía y el medio ambiente.

La tecnología SIG permite capturar de datos, almacenamiento gestión de datos, análisis espacial, visualización de datos, consulta y recuperación de información utilizando la geografía, lo que ayuda a la toma de mejores decisiones y satisfacer diversas necesidades técnicas al mismo tiempo que cumple con los requisitos espaciales o territoriales (Zamora, 2009).

Los SIG actúan como una base de datos geográfica asociada con objetos existentes en un mapa digital y responde a consultas interactivas de los usuarios analizando diferentes tipos de información y vinculándolas a una única ubicación geográfica. Esto es para conectar el mapa a la base de datos. Se divide en las siguientes etapas. (CEA, 2009):

- Ingresar información al sistema ya sea que esté digitalizada o por digitalizar.
- Almacenar y actualizar una base de datos geográfica, es decir, información georreferenciada utilizando coordenadas geográficas de latitud y longitud.
- Análisis e interpretación de datos georreferenciados.
- La forma de salida de la diferente información del producto dependerá de las necesidades de los usuarios.

Los SIG facilitan el trabajo de los profesionales porque dividen la información en capas temáticas y las almacenan de forma independiente, haciendo que la tarea principal de correlacionar la información existente para lograr resultados sea más rápida y sencilla (CEA, 2009).

Los SIG de escritorio pueden considerarse aplicaciones SIG normales para visualizar, analizar, editar y generar gráficamente información geográfica. No obstante, estarán los servidores de geodatos o geodatabases. (CEA, 2009).

2.8. Antecedentes

2.8.1. Antecedente Internacional

(Alonso, 2019), en su investigación "Investigación del uso real y potencial de la energía solar a nivel mundial a partir del mapeo de la radiación solar y variables socioeconómicas" concluyó que el potencial de la energía solar es innegable a nivel global y prometedor a nivel individual. Los países con mayor cuota de generación eléctrica fotovoltaica no llegan al 13%, y sólo 6 países superan el 5% en todos los estudios. Incrementar estos porcentajes puede significar reducciones significativas de las emisiones necesarias para cumplir acuerdos encaminados a la subsistencia de la tierra. Asimismo, de este beneficio, la energía solar puede proporcionar otros beneficios. El ejemplo es el país de China habla por sí solo. Ya que es el país con mayor capacidad instalada de generación eléctrica fotovoltaica. Con una capacidad instalada de casi 80 GW en 2016, el país también tiene una enorme industria solar que produce paneles para el resto del mundo. Solo en 2017, la capacidad instalada alcanzó los 53 GW, gracias a la fuerte inversión del país en capacidad de generación de energía renovable. Sin embargo, la electricidad producida por paneles solares en 2014 representó sólo el 0,41% del total.

(García, 2021), En su tesis "Evaluación del potencial de energía solar en el norte del Caribe colombiano" concluyó que, en el mediano plazo, el uso generalizado de energía fotovoltaica en el Caribe colombiano es una alternativa viable, ya que la región tiene altos valores de radiación solar y, por tanto, un potencial energético potencialmente alto para cubrir parte de sus necesidades energéticas de la ciudad. Evaluar los cambios temporales de los recursos solares e introducir factores técnicos en los cálculos son elementos necesarios para obtener resultados prácticos fiables a la hora de determinar el potencial energético de las células fotovoltaicas. La radiación solar promedio de las ciudades capitales del Caribe norte de Colombia es de 5,5 kWh/año/m², concentrada principalmente en Riojacha, que corresponde a la ciudad con mayor radiación solar del país.

(Mendoza, 2022) en su tesis "Evaluación de proyectos de generación de energía fotovoltaica en el sector textil del Ecuador a través de la consolidación de empresas de servicios energéticos" señala que la implementación de sistemas solares en la industria textil puede traer ahorros de alrededor del 30 al 60% en los negocios, esta información se considera atractiva para los propietarios y gerentes de diversas empresas, porque dichos ahorros se

reflejan en las ganancias y según la evaluación se llevó a cabo y quedó claro que el tiempo de recuperación es de 9 a 10 años, lo que es positivamente nuevo en relación con la vida útil del equipo (aproximadamente 25 años). Desde el punto de vista económico, la participación de empresas de servicios de ahorro energético en proyectos de eficiencia energética en el sector industrial y la implementación de sistemas de autoabastecimiento de baterías solares parecen posibles, ya que las evaluaciones muestran que la tasa de interés interna es de 13,8% y 51%.

(González, 2021), en su investigación “Análisis global de la eficiencia y viabilidad de las empresas orientadas a la energía solar como soluciones alternativas a los problemas ambientales y las crisis energéticas” concluyó que en los países del mundo están invirtiendo importantes recursos en la producción y recolección de energía limpia y renovable, como la energía solar, para reducir los efectos del cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono. En cuanto a las desventajas de la energía solar, cabe decir que la captación de energía es inconsistente, ya que la cantidad de energía captada varía mucho debido al clima.

(Daniel, 2020) en su “Estudio e implementación de sistemas fotoeléctricos en luminarias: un estudio de caso del Dr. Francisco Fálquez Ampuero” Con base en un estudio de la carga de iluminación actualmente instalada en la escuela, solo se consideró el consumo de luminarias de tubo LED instaladas en áreas identificadas como críticas para el mantenimiento de la iluminación durante un corte de energía. Y en el almacén se determina que cada zona cuenta con 4 lámparas LED con un consumo eléctrico teórico de 18 watts, lo que significa que el consumo eléctrico en cada zona es de 72 watts y las necesidades totales de la organización son 864 watts.

2.8.2. Antecedente Nacional

(Quintasi, 2020) en su investigación “Análisis de la situación de las energías renovables en el Perú y su aplicación en proyectos de electrificación rural” concluyó que del año 2010 a 2019, el costo de producir energía solar fue el que más cayó entre las energías renovables no convencionales. Su coste se ha reducido casi un 82% en nueve años, lo que indica que las empresas y los laboratorios privados están haciendo avances significativos para hacer más asequible el uso de esta tecnología. Asimismo, en cuanto a las ventajas del uso de fuentes de energía renovables, encontraron que las principales ventajas son la larga vida útil de estos sistemas y los importantes ahorros que se pueden conseguir con un mínimo mantenimiento; las desventajas se pueden resumir en la degradación del paisaje debido a la construcciones, la estacionalidad de la producción de energía, como la energía hidroeléctrica

que depende de factores como el flujo de agua y el terreno, mientras que la energía solar depende del nivel de radiación solar en el área.

(Villaseca Calle, 2020), en su tesis “Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en el Perú” menciona que, desde los inicios de la energía solar fotovoltaica casi simultáneamente con la llegada de la era espacial, se preveen grandes oportunidades para su aplicación. Se incluyó en el Pioneer 1, el primer satélite que utilizó paneles solares, y fue un éxito rotundo. Desde entonces hasta los gigantescos parques de energía solar actuales, la tecnología ha demostrado su potencial para ser la fuente de energía del futuro. Obtener electricidad directamente del sol sin procesos importantes significa que la tecnología utilizada debe ser eficiente y, a medida que se vuelva más accesible, la tecnología se desarrollará más, obtendrá más beneficios y mejorará la funcionalidad del módulo. El silicio sigue siendo el mineral preferido debido a su buen coste.

(Cruz, 2014) en su investigación de “Optimización de sistemas de energía solar fotovoltaica para la generación de electricidad en viviendas aisladas de la región andina” concluyó que, en el altiplano andino, los pueblos de Yanacancha y San José de Quera tienen una radiación solar casi continua con un máximo de aproximadamente 5,8 a 5,9 horas por día, por lo que la cantidad de radiación es de 5.902 kWh/día, suficiente para generar electricidad. Asimismo, destacó que en el proceso de selección de componentes en base a los requerimientos de iluminación se seleccionaron: paneles solares de 85 Wp, baterías de 60 Ah, controlador de carga de 10 A y conductores eléctricos calibre AWG 12 y 10; a través de componentes seleccionados se instaló dos módulos; uno en Yanacancha y otro en San José de Quera, también determinado por diversos factores; ángulos de elevación de 30° y 45°, ángulos de acimut de 0° y 355°, con controlador de carga respecto al panel. Las posiciones son 1 m y 1,5 m; todos los cuales forman ocho combinaciones de elevación, acimut y posición. (EAP).

(Terbullino, 2020) en su investigación “Análisis de factibilidad de instalación de paneles solares en hogares rurales del Cusco” concluyó que la producción eléctrica doméstica estimada a partir de un sistema de paneles solares es de 0,75 kWh diarios en cualquier zona del Cusco, y todas las zonas de la región tienen radiación por encima del mínimo requerido para abastecer de energía básica a las zonas rurales. Asimismo, la presencia de polvo de arcilla en la estructura del soporte afecta significativamente la eficiencia de los paneles, pues la concentración máxima de polvo de arcilla de 15gr/m² garantiza un buen rendimiento, pero el suministro mínimo requerido para un funcionamiento óptimo es de 0,43KWh, pero si se excede, es posible que el sistema no pueda brindar lo que se necesita. Entonces la conclusión es que sí es posible utilizar estos paneles en toda la zona del Cusco, si se necesita alrededor de

0.45KWh por día, y las baterías deben limpiarse continuamente para lograr un rendimiento óptimo, como puede ocurrir en invierno o en otoño, estacionalmente porque se produce poca radiación.

(Tupac, 2018), en su informe de “Rendimiento de un panel solar fotovoltaico” determinó que la potencia máxima determinada en su laboratorio N°1 de la Universidad Nacional de Juliaca de energías renovables fue de 85.11 vatios, cuya eficiencia fue de 12.18%, También señaló que el efecto pico no fue tan agradable porque la recolección de datos se realizó durante las 16:16 horas, que se sabe que está fuera de la hora pico, y en comparación nuestro efecto fue menor porque otro grupo alcanzó el nivel experimental con una potencia 137 Wp a las 12.00 horas.

2.8.3. Antecedente Local

(Alcantara, 2018), en su tesis “Rendimiento de un sistema solar de 500wp en una habitación de estudiantes de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Chachapoyas, Amazonas” Se instaló un sistema solar fotovoltaico (SFV) de 500 Wp para proporcionar energía de 220 V a las habitaciones de los estudiantes, utilizando un circuito de reflector LED de 8 W y tres enchufes dobles para cargar las baterías de los teléfonos móviles o portátiles de los estudiantes. El SFV consta de dos paneles solares de 260 Wp cada uno, un controlador de carga, dos células de gel de 100 amperios cada una y un inversor de carga de 600 W. El rendimiento del SFV alcanzó una potencia máxima de 386,24 Wp (77,25% de la potencia máxima) en un día soleado, 350,43 Wp (70,10% Potmax) en un día intenso y 250,89 Wp (50,18% Potmax) en un día nublado; siempre superó los cuatro teléfonos móviles y dos ordenadores portátiles. La cantidad de energía necesaria para cargar la batería de la computadora y alimentar el reflector LED.

(Perez, 2023), en su estudio de ““Sitios adecuados para plantas de energía solar en la Amazonía basado en Procesos Analíticos Jerárquicos (PAJ) y Sistemas de Información Geográfica (SIG)” desarrolló un modelo geográfico para analizar áreas aptas para la instalación de plantas de energía solar en la Amazonía con una resolución espacial de 1 kilómetro. Este modelo geográfico integra el Proceso de Jerarquía Analítica (PAJ) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) basados en los datos espaciales disponibles, haciéndolo replicable. Luego se determina si la región amazónica es apta para instalar paneles solares. No encontré una zona especialmente adecuada, pero el 10,1% (4.253,07 kilómetros cuadrados), el 73,4% (30.879,92 kilómetros cuadrados) y el 16,5% (6.925,02 kilómetros cuadrados) de la región amazónica son aptas y poco aptas e inadecuadas para la instalación de energía solar, respectivamente. Con ello señaló que este estudio apoyará a la toma de

decisiones a seleccionar sitios adecuados para promover el desarrollo de energías renovables, especialmente la energía solar; además, este estudio brinda herramientas para la gobernanza territorial a los responsables de promover políticas de desarrollo sostenible en dicha región.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), localizada en el distrito de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas, región Amazonas.

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente la UNTRM se localiza a 6° 14' 0,40" de latitud Sur y 77° 51' 13,17" de longitud Oeste.

Tabla 3. Coordenadas UTM del datum WGS-84, zona 18

Coordenadas UTM		Altitud
Este (m)	Norte (m)	m.s.n.m.
184 195,83	9 310 135,41	2 335

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Características climáticas del área de estudio

El área de estudio evaluado fue de 22,5 ha, la cual corresponde a la totalidad del campus universitario de la UNTRM.

3.1.3.1. Clima

El clima predominante en Chachapoyas es “Ligeramente Húmedo y Templado Cálido” (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana-IIAP, 2017). La temperatura más alta se registra en el mes de Noviembre (26°C) y la más baja en el mes de agosto (7,5°C) (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI, 2020).

La precipitación anual promedio es de 64.85 mm/mes, en la cual la lluvia se presenta con mayor intensidad en el mes de marzo (136,7 mm/mes) y menor intensidad en los meses de junio (20,1 mm/mes) y agosto (20,1 mm/mes) (SENAMHI, 2020).

3.1.3.2. Zona de vida

Según la clasificación de Holdrige, el distrito de Chachapoyas pertenece a la zona de “Bosque Seco Montano Bajo Tropical”, donde la topografía varía de suave a plana (típica de las terrazas en los valles entre los Andes) a inclinada (típica de las laderas que rodean estos valles), y el patrón del suelo consiste en suelos de textura media a pesada, de reacción neutra a calcárea y de buen drenaje. (Municipalidad Provincial de Chachapoyas, 2013).

3.1.3.3. Accesibilidad

El recorrido para acceder al lugar de ejecución del proyecto (Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas) se parte de la ciudad de Tingo María hasta llegar a la ciudad de Tarapoto durante 10 horas, seguidamente se continua con el recorrido desde Tarapoto hasta nueva Cajamarca por un tiempo de 1 hora y 30 minutos, luego se toma la ruta desde nueva Cajamarca hasta el centro poblado de Pedro Ruiz Gallo durante 3 horas, seguidamente se toma la ruta desde el centro poblado de Pedro Ruiz Gallo hasta la ciudad de chachapoyas; todo el recorrido se realiza a través de una carretera asfaltado y en carro.

3.1.4. Criterio y análisis de estudio

3.1.4.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación realizada es descriptivo y explicativo ya que se describen los resultados del estudio y también se explica y determina el potencial fotovoltaico en los techos del edificio.

3.1.4.2. Diseño de la investigación

El estudio realizado es no experimental, ya que los resultados obtenidos fueron realizados en gabinete con el software ArcGIS Pro.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Entre los materiales tenemos mapa base del área de estudio, tarjeta microSD, wincha (50 m), cal, membrana geotextil HDPE, machete, botas de campo, tijeras, lapicero, marcador indeleble y cuaderno de apuntes; los equipos usados fueron el GPS Submétrico Trimble, Dron Phantom 4 pro RTK y una radio Woki Toki Motorola; asimismo para el proceso de la etapa de gabinete se usó los softwares AutoCAD, ArcGIS Pro, Agisoft Metashape y Google Earth Pro.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Cálculo de la superficie total disponible en los techos en la UNTRM.

Para calcular la superficie total disponible en los techos de la UNTRM se realizó un levantamiento fotogramétrico con un vuelo programado a través de puntos de control de dicho lugar. Seguidamente se hizo una elaboración de orto mosaico (DEM, DSM, DTM) y con ello se realizó la visualización de base de datos, creación de efecto sombreado y la exploración de huellas de edificios.

a) Ubicación de puntos de control

Previo a la adquisición de las imágenes UAS, se dispersaron 5 marcas (GCPs) en la superficie estudiada con el propósito de georreferenciar se utilizaron 04 CP (Check Points) y para evaluar la precisión del proyecto fotogramétrico se utilizaron 01 VP (Validation Points).

b) Levantamiento fotogramétrico

P4RTK permite realizar un enfoque PPK (**Figura 1**), ya que su receptor GNSS integrado almacena data de observación RINEX y archivos de la información del vuelo. La ventaja del PPK es que sólo se requieren dos líneas de comunicación permanentes, una entre el satélite y la estación base y otra entre el satélite y el P4RTK. Tanto la estación base como el dron necesitan registrar datos, pero no se requiere comunicación entre los dos y el posprocesamiento garantiza una buena precisión. Se utilizó como base el receptor GNSS R10 con coordenada conocida (BM01) almacenando datos en modo estático a 05 segundos en el enfoque PPK.

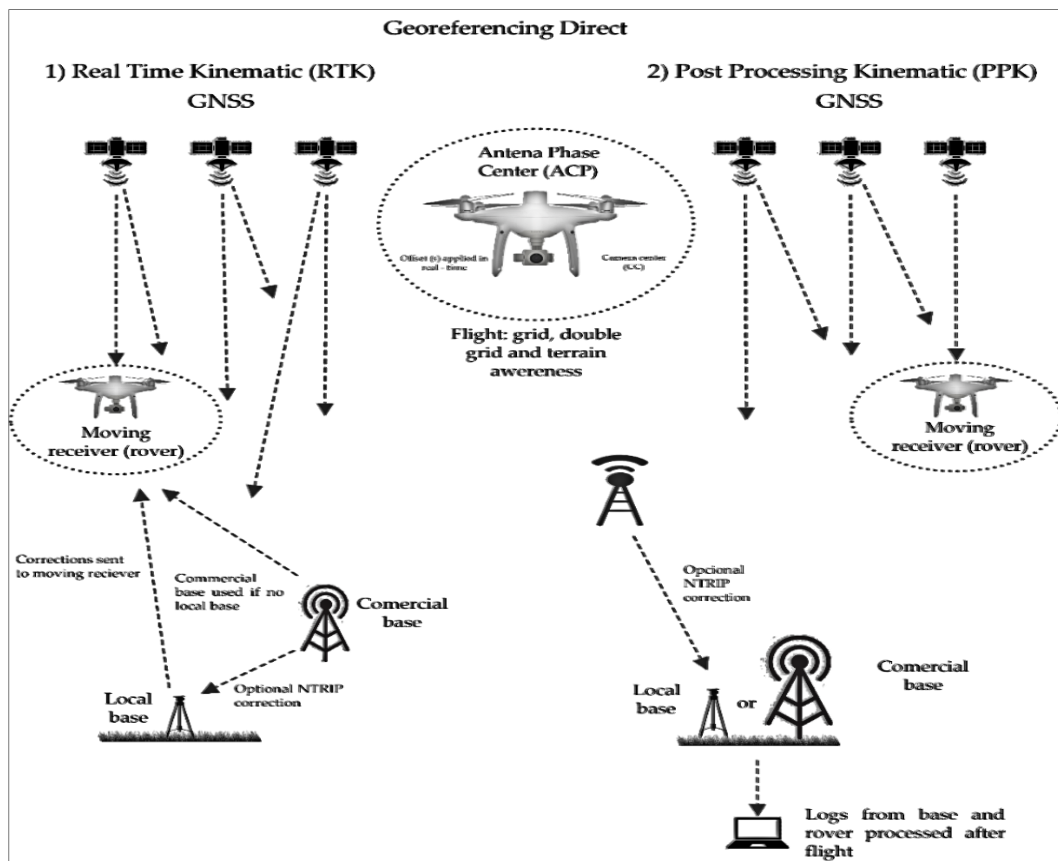


Figura 1. Enfoque PPK y RTK del UAS DJI-P4RTK adaptado (Taddia, Stecchi, and Pellegrinelli 2020; Losè, Chiabrando, and Tonolo 2020)

c) **Elaboración de Orto Mosaicos (DEM, DSM, DTM)**

Para obtención de los modelos de elevación, se procesó en el software Metashape, donde primero se referencia la pestaña, seguidamente se quita la extensión de cámaras al exportar modelos, cargar la cámara calibración de XMP meta data, cargar los ángulos de orientación de la cámara desde metadatos XMP y cargar la precisión de posiciones de la cámara desde metadatos XMP. Seguidamente se importa fotografías por espacio de trabajo, se modifica la precisión 0.05, porque estamos utilizando un Phantom 4 RTK, se modifica el sistema de coordenadas de geográficas a UTM, vamos a icono convertir coordenadas. Ya cargadas las fotografías, orientamos las fotos, eligiendo una precisión alta. Luego se carga el excel con las coordenadas de foto control. Seguidamente se crea la nube de puntos densa en calidad alta, crear malla, en flujo de trabajo, crear modelo digital de elevación, por último, se creó el ortomosaico, flujo de trabajo.

d) **Visualización de base de datos**

Posterior a la descarga de la base de datos conformada por el ortomosaico (DEM, DSM, DTM), se abrió y analizo para su posterior procesamiento y obtención de resultados. Se abre el software ArcGIS Pro y cargar el formato DMS y digitalizar en un shp las huellas de los edificios de la universidad nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. El área de estudio se representa como un modelo de superficie digital (DSM) que contiene el terreno y la altura de las entidades (edificios, árboles, etc.) dentro de él. Siendo este una capa ráster contiene datos en una cuadrícula donde cada celda representa un valor numérico y está simbolizada de manera que las celdas de color gris oscuro tienen una elevación más baja y las celdas de color gris claro y blanco tienen una elevación más alta. Usando el botón de la rueda del ratón podemos hacer zoom para visualizar cada unidad que conforma la capa DSM. Cada celda del ráster represento superficies de 0,5 x 0,5 m y contenía las elevaciones (en metros). Seguidamente en el panel de contenido nos dirigimos a la capa DSM y analizamos los datos. La capa DSM de forma predeterminada simboliza celdas más oscuras para las menores elevaciones y celdas más claras para las elevaciones mayores.

e) **Creación de efecto sombreado**

Se utilizo para la mejor visualización de la superficie (edificios, vegetación, etc.), dicha capa ráster usó un efecto sombreado realista para distinguir la altitud. Para ello nos vamos en la cinta de opciones, se selección la pestaña imágenes (Imagery), luego en el grupo análisis (Analysis) se hace clic en el botón de funciones ráster (Ráster Functions). Luego en el cuadro de búsqueda del panel de funciones ráster (Raster Functions) se buscó la opción de

sombreado y en la lista de resultados, en superficie (Surface) se hizo clic en Sombreado (Hillshade). Continuando con el procedimiento, al abrirse la herramienta sombreado (Hillshade Properties), de la opción parámetros (Parameters), en ráster se elige la opción de DSM, se acepta el resto de los valores predeterminados y se hace clic en crear capa nueva. Luego en el panel de contenido se añade la capa llamada Sombreado_DSM (Hillshade_DSM), y para su mejor visualización se arrastró la capa DSM sobre la capa Sombreado_DSM. Y por último en el panel de contenido, se hace clic con el botón derecho en DSM y se elige Zoom a capa (Zoom to Layer) para la mejor visualización. El efecto sombreado realista agregó el efecto 3D a los edificios, árboles y otras entidades que se encontraban sobre la superficie del área de estudio, a la vez se pudo visualizar si los edificios tenían techos planos, cubiertos o inclinados, lo que represento importancia para la posterior ubicación de los paneles solares.

f) Exploración de huellas de edificios

El proyecto contenía dos capas (Capa DSM y shp de huellas de edificios): en el panel de contenido, se activa la casilla de verificación de la capa de edificios. Aplicar zoom y el desplazamiento panorámico por el mapa para la exploración del vecindario. Seguidamente en la barra de herramientas de acceso rápido, se hace clic en el botón Guardar (Save) y se guarda el proyecto.

3.2.2.2.Determinación de la radiación solar para el área útil calculada.

a) Representación cartográfica de la radiación solar de los techos en edificaciones de la UNTRM.

Se represento la porción de radiación solar que llegaba al área de los techos de la UNTRM por un periodo de un año normal, y teniendo en cuenta que a mayor radiación solar acumule un tejado, más energía podrá producir si se instalan paneles solares.

❖ Creación de la capa de radiación solar

Para la creación de la capa de radiación solar se utilizó la herramienta radiación solar de áreas, que abarca la extensión ArcGIS Pro - Spatial Analyst y utiliza DSM como entrada. Esta capa evalúa la radiación a partir de un modelo complejo considerando la posición del sol en diferentes épocas del año y del día, asimismo los obstáculos que pueden bloquear la luz solar (árboles, edificios cercanos, etc.), pendiente y orientación de la superficie. DSM proporciona información relevante acerca de obstáculos, orientación y pendiente. La salida es una capa ráster donde cada valor de celda representa la cantidad de radiación solar en Wh/m².

- Paso 1:** en la cinta de opciones, se seleccionó la pestaña análisis (Analysis) del grupo de geoprocésamiento (Geoprocessing), posteriormente se hizo clic en herramientas (Tools).
- Paso 2:** en el panel de geoprocésamiento (Geoprocessing), se buscó la herramienta radiación solar de áreas (Area Solar Radiation), se seleccionó y se abrió.
- Paso 3:** en el ráster de entrada (Input Raster) de la herramienta radiación solar de áreas (Area Solar Radiation), se eligió DSM; en ráster de radiación global de salida (Output Global Radiation Raster) se cambió el nombre de salida a Rad_Solar_Whm2_mio (se cambió el nombre ya que la base de datos descargada previamente del Dron Phantom 4 pro RTK, contenía una capa denominada Rad_Solar_Whm2) y al elegir el ráster de entrada, se rellenó automáticamente el parámetro de latitud, con la latitud del DSM (la latitud ayudo a ubicar la posición del sol).
- Paso 4:** se seleccionó todo el año (Whole Year) en configuración de tiempo (Time Configuration) y en año se escribió el tiempo determinado del estudio. En la opción de intervalo de hora (Hour Interval) se cambió a por hora una vez (1) para disminuir el tiempo de cálculo.
- Paso 5:** se expandió la opción parámetros topográficos (Topographic Parameters) y en direcciones de cálculo (Calculation Directions) se escribió 16. Dicha herramienta sirvió para comprobar las direcciones a su alrededor de la celda para detectar obstáculos que impedían la luz.
- Paso 6:** se seleccionó la pestaña entornos (Environments), para diseño de la capa de edificios como una máscara para procesar solo áreas dentro de las huellas de edificios.
- Paso 7:** en la opción de máscara (Mask) de la herramienta análisis de ráster (Raster Analysis) se eligió cada de edificios y se procedió a ejecutarlo (Run).
- Paso 8:** se aplicó zoom y en la barra de herramientas de rápido acceso, se hizo clic en el botón Guardar (Save) y se procedió a guarda el proyecto.

❖ **Conversión de las unidades de medida**

La ráster de radiación solar se utilizaba como unidad de medida predeterminada los vatios-hora por metro cuadrado, es por ello por lo que algunas celdas presentaban valores mayores a 1 millón (e+06), por lo que, para simplificar y reducir el tamaño de los valores al leerlos, se convirtió la capa ráster que mide kilovatios por metro cuadrado (kWh/m²).

- Paso 1:** en el panel de geoprocésamiento (Geoprocessing) se hizo clic en el botón de atrás para continuar con la función de búsqueda.

Paso 2: en la herramienta de análisis espacial (Spatial Analyst), se buscó y abrió la calculadora ráster (Raster Calculador). En la expresión de álgebra de mapas (Map Algebra Expression) de la herramienta calculadora ráster se escribió la siguiente expresión:

$$\text{"Solar_Rad_Whm2_mio"}/1000 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Para poder transformar las unidades de medida, se generó una expresión que divide los valores de celda existentes entre 1000, ya que un kilovatio equivale a 1000 vatios.

Paso 3: en el panel de contenido, se quitó Solar_Rad_Whm2_mio, dando clic derecho y seleccionando la opción de quitar (Remove).

❖ **Simbolización de la capa de radiación solar**

La capa Solar_Rad está simbolizada hacia el análisis utilizando una simbología uniforme se encuentra presente en todas las capas de ráster de irradiación solar para permitir la comparación visual.

Paso 1: Clic en la rampa de colores Rad_Solar en el panel Contenido y saldrá el panel Simbología (Symbology).

Paso 2: En panel Simbología vamos al apartado Opciones y seleccionamos Importar desde archivo de capa. (Symbology_Solar_Rad).

Paso 3: En la ventana Importación de símbolos, expanda la carpeta Solar_in_Glover, posteriormente, haga clic doble en Rad_Solar.lyrx. El archivo de capa se emplea a la capa y se exhibe una nueva simbología en el mapa.

Paso 4: En el mapa, utilizamos el zoom para acercarnos y visualizar mejor la superficie del techo. Los colores rojos y naranjas observados señalan mayores cantidades de radiación solar, entre tanto que los colores amarillo y azul muestran menores cantidades de radiación solar.

De manera similar, las laderas orientadas al norte también tienen tonos de azul y amarillo porque reciben menor energía solar que las laderas orientadas al sur, y los techos con obstrucciones como edificios u otros árboles también absorben menos luz solar.

b) Identificación de techos adecuados para adecuación de paneles solares en los techos de edificaciones de la UNTRM.

Para la identificación de los techos adecuados para paneles solares, se tomó en cuenta los siguientes criterios:

Tabla 4. Criterios para la identificación de techos adecuados para la ubicación de paneles solares

Pendiente de los techos adecuados $\leq 45^\circ$	Techos adecuados deben recibir ≤ 800 kWh/m² de radiación solar	Techos adecuados no deben estar orientados al norte
Pendientes empinadas tienen a recibir menos luz solar.		Se recibe menor luz solar del hemisferio norte.

Fuente: Elaboración propia

❖ **Creación de la capa pendiente**

Se emplea la herramienta denominada parámetros superficiales para la creación de la capa raster de pendiente basada en el DSM.

Paso 1: se buscó y abrió la herramienta parámetros de superficie (Surface Parameters) en el panel de geoprocésamiento (Geoprocessing), posteriormente se ingresó los siguientes parámetros:

Tabla 5. Parámetros para la creación de la capa pendiente

Raster de superficie de entrada (Input Surface Raster)	Raster de salida (Output Raster)	Tipo de parámetro (Parameter Type)
DSM	Pendiente_DSM (Slope_DSM)	Pendiente (Pendiente)

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Se inicia la herramienta y se agrega la nueva capa ráster al mapa. Cada celda de la capa de pendiente posee un valor predefinido de 0° - 90° , se puede ver en el mapa que las tonalidades más claras representan pendientes más suaves y las tonalidades más oscuras representan pendientes más pronunciadas.

❖ **Creación de la capa de orientación**

Para la determinación de la disposición de los techos, se creó la capa raster de orientación según los parámetros de superficie.

Paso 1: se introdujo los siguientes parámetros en la herramienta parámetros de superficie (Surface Parameters):

Tabla 6. Parámetros para la creación de la capa orientación

Raster de superficie de entrada (Input Surface Raster)	Raster de salida (Output Raster)	Tipo de parámetro (Parameter Type)
DSM	Orientación_DSM (Aspect_DSM)	Orientación (Aspecto)

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: se ejecutó la herramienta con los parámetros agregados y el nuevo ráster se agregó al mapa. Donde cada celda contenía valores que indicaban su ubicación en grados, en el cual 0 representa el extremo norte y 180 el extremo sur.

❖ **Eliminación de áreas con pendientes pronunciadas**

Se uso las capas de radiación solar y pendiente para la búsqueda de superficies que cumplan con las especificaciones de los paneles solares, en el cual se tuvo como resultado una capa raster de radiación solar sin pendientes superiores a 45°.

Paso 1: en el panel geoprocesamiento se buscó y selecciono la opción de evaluación condicional, posteriormente se agregó los siguientes parámetros:

Tabla 7. Parámetros para la eliminación de áreas con pendientes pronunciadas

Raster condicional de entrada (Input Conditional Raster)	Expresión (Expression)
Pendiente_DSM (Slope_DSM)	Value Menor o igual a 45° (Is Less Than 45°)

Fuente: Elaboración propia

La expresión se aplicó a cada celda del ráster pendiente, en el cual si el valor de una celda era menor o igual a 45° se consideraba verdadera, en caso contrario se consideraba falsa.

Paso 2: en la opción Raster verdadero o valor constante de entrada (Input True Raster Or Constant Value) se eligió Rad_Solar (Solar_Rad). Seguidamente en la opción raster de salida (Output Raster) se cambió el nombre de salida a P_Rad_Solar (Solar_Rad_S), en el que P representaba a pendiente (Slope).

Paso 3: se ejecutó la herramienta y el nuevo raster se añadió al mapa; la simbología se modificó antes de explorar la capa nueva para que pudiera coincidir en la capa raster Rad_Solar (Solar_Rad).

Paso 4: en el panel de contenido se hizo clic en la rampa Rad_Solar_P de color (Solar_Rad_S), por lo que apareció el panel de simbología (Symbology), en el cual nos dirigimos a opciones (Options) y se seleccionó importar desde archivo de capa (Import From Layer File).

Paso 5: en la ventana importar simbología (Import Symbology), se abrió carpetas y Solar_in_Glover, luego se hizo clic en Rad_Solar.lyrx. La nueva simbología se integró en la capa.

Paso 6: nos dirigimos al panel de contenido y desactivamos la capa orientación_DSM (Aspect_DSM) y Pendiente_DSM (Slope_DSM). Solo estaba activa la capa Rad_Solar (Solar_Rad) y P_Rad_Solar (Solar_Rad_S).

Paso 7: nos dirigimos a la cinta de opciones, pestaña capa raster (Raster Layer), grupo comparar (Compare), se hizo clic en Swipe.

Paso 8: Utilice la función de zoom para ver el edificio con mayor detalle. Transporte el control deslizante desde arriba hasta abajo, para eliminar la capa Rad_Solar (Solar_Rad) y podrá ver las áreas que se eliminaron de la capa P_Rad_Solar (Solar_Rad_S), las áreas de techo eliminadas son aquellas con una pendiente mayor a 45°.

❖ **Eliminación de áreas con poca radiación solar**

Para instalar paneles solares, la superficie del techo debe recibir al menos 800 kWh/m² de radiación solar. Para eliminar áreas con baja radiación solar, utilice la herramienta condicional en la capa P_Rad_Solar.

Paso 1: Abra la herramienta de Evaluación condicional utilizando el panel de geoprocusamiento y seleccione P_Rad_Solar en Ráster condicional de entrada.

Paso 2: en expresión (Espression), se hizo clic en eliminar clausula (Remove) para la eliminación de la anterior expresión.

Paso 3: nos dirigimos a agregar clausula (Add Clause) y se formó una nueva expresión que indicaba donde VALUE es mayor o igual que (is greater than or equal to) 800.

Paso 4: En el ráster real u opcionalmente ingrese un valor constante de Rad_Solar_P (Solar_Rad_S) y cámbielo a P_Rad_Solar_SA (Solar_Rad_S_HS) en el ráster de salida, donde SA representa alta radiación solar.

Paso 5: Se ejecuta la herramienta y esta capa raster nueva se agregó al mapa.

Paso 6: clic en la barra Rad_Solar_P_AR en el panel de contenido para abrir la ventana del símbolo (Symbology).

Paso 7: Cuando estamos en el panel Simbología, hacemos clic en el botón Opciones y en la ventana Importar Simbología seleccionamos Importar desde archivo de capa, vamos a Solar_in_Glover y hacemos doble clic en Rad_Solar.lyrx.

Paso 8: desactivamos la capa Rad_Solar en el panel de contenido y se seleccionó la capa P_Rad_Solar (Solar_Rad_S).

Paso 9: con la herramienta swipe se inspecciono la diferencia entre la capa P_Rad_Solar (Solar_Rad_S) y P_Rad_Solar_SA (Solar_Rad_S_HS).

❖ **Eliminación de áreas orientadas al sur**

La radiación solar es menor en superficies orientadas al sur que las superficies orientadas a otras direcciones. Anteriormente se eliminaron algunas cubiertas orientadas al sur, eliminando zonas con poca radiación solar, pero algunas se mantuvieron, también con el objetivo de mantener una pendiente casi plana independientemente de su orientación, es decir. si el techo era plano, la orientación no es importante para los paneles solares (una pendiente de 10° o menos se considera plana o casi plana).

Paso 1: en el panel de geoprocésamiento (Geoprocessing), abrimos la herramienta para evaluar condicionalmente (Conditional Evaluation) y en raster de entrada condicional (Input Conditional Raster) se eligió Pendiente_DSM.

Paso 2: en expresión (Expression) se agregó donde VALUE es menor o igual que (is less than or equal to) 10, en un raster o valor constante de entrada (Input True Raster or Constant Value) se eligió Rad_Solar_P_AR (Solar_Rad_S_HS), en raster de salida (Output Raster) se cambió el nombre a Rad_Solar_Poca_Pendiente (Solar_Rad_Low_Slope) y se procedió a ejecutar.

Paso 3: en el panel de herramientas para evaluar condicionalmente (Conditional Evaluation), en raster condicional de entrada (Input Conditional Raster), se eligió Orientación_DSM (Aspect_DSM).

Se ejecuto por segunda vez la herramienta evaluación condicional (Conditional Evaluation) para la determinación de superficies orientadas al sur.

Paso 4: en la sección expresión se agregó donde VALUE es mayor que 22,5 (VALUE is greater than) y VALUE es menor que 337,5 (VALUE is less than).

Pendientes orientadas al norte presentaban valores menores que 22, 5° o mayores que 337, 5°. Es por ello que al agregar dichas clausulas, abarcaban todas las superficies que no se encontraban direccionadas al norte.

Paso 5: se introdujo y ejecuto los siguientes parámetros en el panel de herramientas para evaluar condicionalmente.

Tabla 8. Parámetros para la eliminación de áreas orientadas al sur

Raster verdadero o valor constante de entrada (Input True Raster Or Constant Value)	Raster falso o valor constante de entrada (Input False Raster Or Constant Value)	Raster de salida (Output Raster)
Rad_Solar_P_AR (Solar_Rad_S_HS)	Rad_Solar_Poca_Pendiente (Solar_Rad_Low_Slope)	P_Rad_Solar_SA_NS (Solar_Rad_S_HS_NS) NS representaba a No Sur.

Fuente: Elaboración propia

Paso 6: en el panel adjunto, pulsa sobre la rampa de colores. P_Rad_Solar_AR_NS (Solar_Rad_S_HS_NS), lo cual nos dirigió a la ventana de Simbología (Symbology), en el cual se hizo clic en el botón de opciones (Options) y se seleccionó importar a partir de un archivo de capa (Import From Layer File). Nos dirigimos a la carpeta Solar_In_Glover y se pulsó en Rad_Solar.lyrx; la simbología se agregó al mapa y se cerró el panel de simbología.

Paso 7: en el panel contenido se desactivo las capas Rad_Solar_Poca_Pendiente (Solar_Rad_Low_Slope), P_Rad_Solar (Solar_Rad_S) y se seleccionó la capa P_Rad_Solar_SA (Solar_Rad_S_HS).

Paso 8: con la herramienta swipe se inspecciono la diferencia entre las capas P_Rad_Solar_SA (Solar_Rad_S_HS) y P_Rad_Solar_SA_NS (Solar_Rad_S_HS_NS)

Paso 9: Se hizo clic en P_Rad_Solar_SA_NS (Solar_Rad_S_HS_NS) dos veces en el panel de contenido y se cambió el nombre a Celdas_Aptas (Suitable_Cells).

3.2.2.3. Determinación del posible potencial fotovoltaico para las condiciones específicas de la (UNTRM) a lo largo de un año.

Se agregó a los datos un mapa que muestra la radiación solar que absorbe cada elemento elegible de la red para calcular la cantidad de radiación solar que recibiría cada edificio durante un año común, y luego la radiación solar se convirtió en producción potencial de electricidad.

a) Agregado de celdas por edificio

Utilizando la herramienta estadística zonales como tabla, se realizan cálculos para cada edificio, el área asignada ocupada de las respectivas celdas (en metros cuadrados) y la radiación solar promedio (kWh/metro cuadrado).

Paso 1: En el panel de contenido se desactivan las capas de DSM, Hillshade_DSM. y se activó la capa de edificios.

Paso 2: en la cinta de opciones se seleccionó análisis y se pulsó en las herramientas para que se abriera el panel de geoprocésamiento en el cual se buscó y abrió la herramienta estadística zonales como tabla para que luego se agregara los siguientes parámetros:

Tabla 9. Parámetros para el agregado de celdas por edificio

Datos de zonas de entidad o raster de entrada (Input Raster Or Feature Zone Data)	Campo de zona (Zone Field)	Raster de valor de entrada (Input Value Raster)	Tabla de salida (Output Table)	Tipo de estadística (Statistics Type)
Shp de huellas de edificios	Building_ID	Suitable_Cells	Solar_Rad_Table	Valor medio (Mean)

Fuente: Elaboración propia

La radiación solar media por metro cuadrado para cada edificio se representa como el valor medio.

Paso 3: Se hizo clic en el botón derecho en el panel de contenido de Tabla_Rad_Solar (Solar_Rad_Table) y se abrió.

Paso 4: en el contenido de la tabla que se abrió, se analizó cada fila, la cual estaba identificada de forma única por su Building_ID:

Tabla 10. Datos de tabla para el agregado de celdas por edificio

Tabla_Rad_Solar (Solar_Rad_Table)		
Count	Area	Mean
Cantidad de celdas aptas para ese edificio	Área cubierta por celdas aptas (en m2)	Radiación solar media (en kWh/m2) que reciben dichas celdas

Fuente: Elaboración propia

Paso 5: en el panel de geoprocésamiento se buscó y abrió campo de unión (Join Field), y se añadió los siguientes valores:

Tabla 11. Valores para el agregado de celdas por edificio

Tabla de entrada (Input Table)	Huellas de Edificios
Campo de unión de entrada (Input Join Field)	Building_ID
Tabla de unión (Join Table)	Tabla_Rad_Solar (Solar_Rad_Table)
Campo de unión de salida (Join Table Field)	Building_ID
Campos de transferencia (Transfer Fields)	Area
	Mean

Fuente: Elaboración propia

b) Búsqueda de edificios adecuados

Con los datos procesados hasta el momento, se conoce el tamaño de la zona adecuada de la cubierta de cada edificio, por lo que se utiliza este último criterio para determinar si los paneles solares son adecuados. Algunas personas sostienen que, si el área del techo del edificio es inferior a 30 metros cuadrados, no es adecuado para una mayor instalación de paneles solares, porque no vale la pena invertir en instalarlos.

Paso 1: nos ubicamos en la cinta de opciones, pestaña mapa, grupo selección (selection) y se hizo clic en seleccionar por atributos (Select By Attributes).

Paso 2: en la ventana, se seleccionó por atributos (Select By Attributes), filas de entrada (Input Rows), se confirmó que Building_Footprints este seleccionado. Y en tipo de selección (Selection Type) se confirmó que este seleccionado nueva selección (New Selection) y en expresión (Expression) se creó la expresión donde AREA es mayor o igual que 30 (AREA is a greater tan or equal).

Paso 3: se seleccionaron automáticamente las áreas mayores que tenían más de 30 metros cuadrados de superficie de techo adecuado y el número exacto de entidades seleccionadas se puede ver en la parte inferior del mapa. (Selected Features).

Se descubrió que diversos edificios no seleccionados eran de tamaño pequeño (cobertizos de jardín), mientras que otros eran grandes, sin embargo, carecían de superficie suficiente para la instalación de paneles solares, probablemente debido a las sombras proyectadas por los árboles u otros edificios cercanos.

Paso 4: Presione con el botón derecho en Huellas de construcción en el panel Contenido, seleccione Datos seguidamente Exportar activos. Y en la ventana Exportar entidades, las entidades de ingreso (características de entrada) han confirmado que Building_Footprints está seleccionado y los edificios adecuados (Suitable_Buildings)

están seleccionados en la categoría de entidad de salida (Categoría de elemento de salida).

Paso 5: en panel de contenido, se hizo clic derecho en Building_Footprints y se quitó del mapa, lo mismo se realizó con Tabla_Rad_Solar.

c) Creación de campo para la radiación solar

En la tabla de atributos añade un campo propiedad_edificios que contiene la cantidad total de radiación solar que recibe la superficie útil de cada edificio al año.

Paso 1: en el panel de contenido se hizo pulsó el botón derecho en edificios_adequados (Suitable_Buildings) y se Eligió tabla de atributos (Attribute Table). Se seleccionó agregar un campo en la cinta de opciones de la tabla de atributos (Add Field).

Paso 2: en la fila inferior de la vista de campos, se colocó el nombre del campo (Field Name) se escribió MWh_RS_Aprovechables (Usable_SR_MWh) y en tipo de datos (Data Type), se Eligió doble (Double)

Paso 3: en formato de número (Number Format) se hizo doble clic en la celda vacía y posteriormente en el botón determinar el formato de visualización para los diferentes tipos de campos de datos y numéricos (Determine the display format for numeric and data field types).

Paso 4: en la ventana de número de formato (Number Format), categoría (Category), se Eligió numérica (Numeric). En redondear (Rounding), posiciones decimales (Decimal Places) se escribió 2 y se aceptó.

Paso 5: en la cinta de opciones, pestaña campos, grupo cambios (Changes), se hizo clic en guardar (Save).

Paso 6: Para volver a la tabla de atributos, haga clic en la pestaña edificios_adequados (Suitable_Buildings).

Paso 7: se pudo visualizar que los valores del nuevo campo MWH_RS_Aprovechables (Usable_SR_MWh) eran nulos (Null).

Paso 8: en la tabla de atributos se hizo pulsó en el botón derecho en la columna MWH_RS_Aprovechables (Usable_SR_MWh) y se Eligió calcular campo (Calculate Field).

Paso 9: mientras que en la ventana calcular campo, en MWH_RS_Aprovechables = (Usable_SR_MWh =), se creó la siguiente expresión:

$$(! AREA! * ! MEAN!)/1000 \qquad \text{Ecuación (2)}$$

Paso 10: se aceptó y la herramienta se ejecutó, calculándose así el campo nulo de MWH_RS_Aprovechables (Usable_SR_MWh). Los resultados visualizados se expresaban en megavatios-hora.

d) Conversión de la radiación solar en energía

Considerando que la energía que puede producir un panel solar depende también de la eficiencia y potencia del panel solar el cual convierte el valor disponible de la radiación solar en potencial de generación de electricidad. Y no solamente de la radiación solar

Teóricamente, se ahorra 86% de electricidad en toda la instalación usando los paneles solares que son capaces de convertir el 16% de la energía solar recibida en electricidad.

Paso 1: Clic en el botón Nuevo campo dentro de la tabla de atributos. En la vista de campo, ingrese MWh_Prod_Elec en el cuadro de texto se colocó Nombre de campo para el nuevo campo y seleccione doble para Tipo de datos.

Paso 2: En la sección formato de número, haga dos veces clic en una celda vacía y luego haga clic en el botón Formato para los tipos de campo Número y Datos.

Paso 3: En la ventana de Formato de número, seleccione Categoría, Número. Para números enteros escriba 2 y se acepta.

Paso 4: seguidamente en la cinta de opciones, ubíquese en el grupo Campos, haga clic en Guardar.

Paso 5: nos dirigimos a la pestaña edificios_adequados para así poder volver a la tabla de atributos.

Paso 6: pulsa el botón derecho en la columna MWh_prod_elec en la tabla de atributos y seleccione Calcular campo.

Paso 7: en la ventana calcular campo en MWH_RS_Aprovechables = (Usable_SR_MWh =), se creó la siguiente expresión:

$$!Usable_SR_MWh! * 0,16 * 0,86 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Paso 8: se hizo clic en aceptar y la herramienta se calculó.

e) Simbolización de datos

Una vez completado el análisis y antes de explorar los resultados, simbolice las capas según las columnas que creó y agregue un mapa base para proporcionar contexto.

Paso 1: Haga clic en el símbolo de la capa de edificios_adequados ubicado en el panel de contenido (Suitable_Building) para poder aperturar el panel de simbología (Symbology).

Paso 2: en la sección de simbología principal (Symbology), se hizo clic en el botón de opciones y seleccione importar simbología (Import Symbology).

Paso 3: Utilice la herramienta Aplicar simbología de capa para abrir el panel Geoprocesamiento, haga clic en Examinar en la herramienta Aplicar simbología de capa.

Paso 4: dentro de la ventana en capa de simbología, nos dirigimos a la carpeta Solar_In_Glover y se hizo clic en edificios_adequados. Lyrx y se procedió a ejecutar la herramienta.

Paso 5: se desactivo todas las capas a excepción de edificios_adequados.

Paso 6: en la cinta de opciones, se ubicó pestaña mapa del grupo capa, se hizo clic en mapa base (Basemap), se eligió lona gris oscuro (Dark Gray Canvas) y se agregó al mapa.

Paso 7: se exploró el mapa final.

Como puedes ver, los edificios más grandes tienen más potencial de generación de electricidad que las casas o edificios más pequeños. Es decir, tiene sentido porque los edificios más grandes tienen superficies de techo más grandes, pero los edificios más grandes requieren más electricidad.

Paso 8: En el panel de contenido, haga clic derecho en el edificio correspondiente y luego seleccione Tabla de atributos. Haga clic derecho en la tabla de atributos en la columna MWh_Prod_Elec y luego seleccione Estadísticas. La distribución de los valores de los campos en el gráfico de barras y el panel de propiedades del gráfico se muestra en el gráfico abierto. El panel contiene datos, como la suma del potencial de producción de electricidad de cada edificio.

Paso 9: Los símbolos de estadísticas, sumas y datos se reconocen en el panel de propiedades del gráfico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cálculo de la superficie total disponible en los techos de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

Para realizar el cálculo de la superficie total disponible de la UNTRM se consideró la pendiente, radiación y orientación.

En la **figura 12** se presenta el mapa de pendiente de la UNTRM en donde los colores naranjas representan pendientes suaves y los colores verdes son pendiente pronunciadas, asimismo se eliminan las pendientes mayores a 45° debido a que las pendientes empinadas reciben menos luz solar.

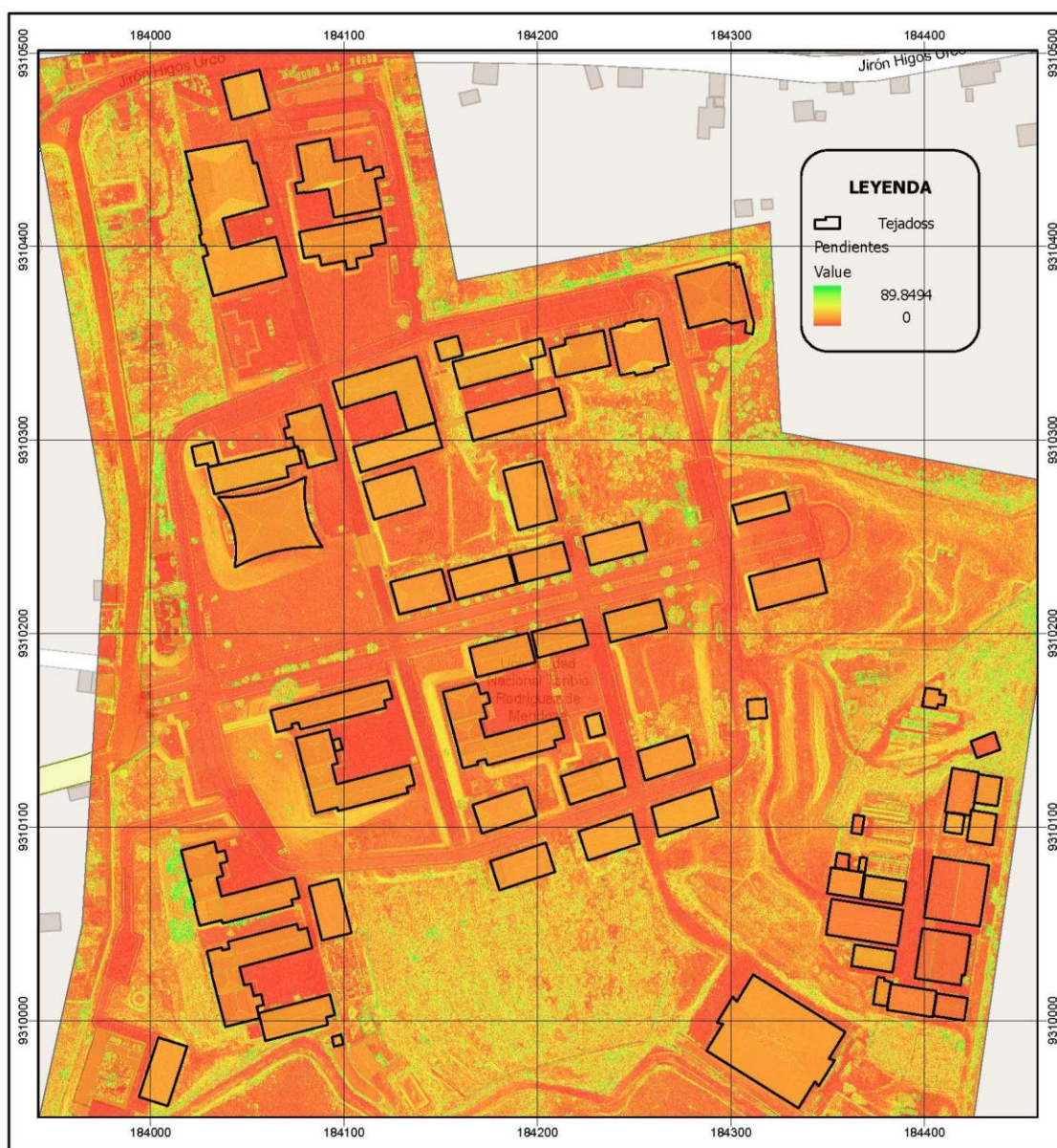


Figura 2. Mapa de pendiente

En la **figura 3** se muestra el mapa de orientación de la UNTRM en donde los edificios de color rojo no son considerados para la instalación de paneles solares porque están orientados al norte, y el hemisferio norte recibe menos luz solar.



Figura 3. Mapa de orientación.

La UNTRM comprende un total de 80 edificaciones distribuidas, teniendo un área total de 41268.356 m², de los cuales el 85.49% se encuentran disponibles para albergar la instalación fotovoltaica, los cuales son 60 edificaciones con un área total de 35278.366 m². (85.49% de la superficie disponible). En la **Tabla 12** se observa el área de cada edificación mientras que en la **Figura 4** se presenta las áreas de las 60 edificaciones disponibles.

Tabla 12. Superficie total

Superficie total de la UNTRM					
N°	Polígono	Área m²	N°	Edificio	Área m²
1	Edificio	513.764	31	Edificio	634.581
2	Edificio	452.321	32	Edificio	510.34
3	Edificio	476.674	33	Edificio	451.106
4	Edificio	420.954	34	Edificio	128.58
5	Edificio	466.736	35	Edificio	634.304
6	Edificio	462.901	36	Edificio	653.826
7	Edificio	662.255	37	Edificio	927.678
8	Edificio	696.154	38	Edificio	190.595
9	Edificio	239.37	39	Edificio	323.711
10	Edificio	263.884	40	Edificio	100.254
11	Edificio	234.761	41	Edificio	2325.668
12	Edificio	430.452	42	Edificio	505.834
13	Edificio	455.883	43	Edificio	2679.163
14	Edificio	368.036	44	Edificio	787.079
15	Edificio	491.113	45	Edificio	1161.16
16	Edificio	462.919	46	Edificio	761.543
17	Edificio	426.013	47	Edificio	1078.884
18	Edificio	502.652	48	Edificio	663.005
19	Edificio	473.386	49	Edificio	1363.261
20	Edificio	655.829	50	Edificio	315.558
21	Edificio	557.344	51	Edificio	546.47
22	Edificio	213.87	52	Edificio	1212.756
23	Edificio	178.886	53	Edificio	536.629
24	Edificio	93.591	54	Edificio	122.141
25	Edificio	91.126	55	Edificio	1235.691
26	Edificio	275.809	56	Edificio	97.421
27	Edificio	590.601	57	Edificio	1001.654
28	Edificio	977.379	58	Edificio	1190.24
29	Edificio	731.287	59	Edificio	94.184
30	Edificio	126.627	60	Edificio	52.473
Total				35278.366	

Fuente: elaboración propia



Figura 4. Áreas disponibles para instalación fotovoltaica.

En la **Figura 4** se observa que los edificios de color rojo y naranja revelan una cantidad mayor de radiación solar, por otro lado, los colores amarillos indican menor cantidad de radiación, los edificios deben recibir como mínimo 800 kWh/m² de radiación para la instalación fotovoltaica es por ello por lo que se elimina los edificios de menor radiación. Por lo tanto, los edificios no considerados para la instalación de paneles fotovoltaicos son debido a la pendiente inclinada, radiación y orientación y superficie de los techos, área de techos afectados por las sombras y la superficie de los techos que están destinados a la entrada de los módulos fotovoltaicos. Dichos resultados coinciden con (Martín, et al; 2015), ya que en su investigación señala que 238 edificios no fueron considerados para la instalación de paneles fotovoltaicos porque las características no fueron adecuadas, asimismo mencionaron que las características era la radiación solar recibida, así como la orientación, pendiente y forma de las edificaciones, o por su valor histórico, hace improcedente cualquier modificación de su delimitación. Asimismo, (Universidad Nacional Pública de Navarra (UPNA), 2022) en su investigación descarta las superficies a menos de un metro de fachadas de edificios y las superficies no útiles para la densidad de producción de energía. Las superficies que superen este umbral se considerarán inutilizables, ya que las pérdidas por desorientación y sombra son superiores al 30%, según la ciudad. Es decir, se eliminan las zonas donde la densidad de producción de energía sea inferior al 70% del volumen máximo de producción de la ciudad.

Según la (Comisión Europea (COM), 2022), la energía solar puede cubrir la mayor parte de las necesidades de electricidad y calefacción de un edificio, a través de colectores solares calentados por líquido, sistemas de energía solar (con bombas de calor) o una

combinación de ambos (incluidas células solares y energía térmica híbrida). Con políticas y regulaciones de apoyo que garanticen igualdad de condiciones para todas las tecnologías solares y no favorezcan una tecnología sobre otra, los gobiernos estatales y locales pueden implementar las soluciones más efectivas para cada situación.

(Magazine PV, 2024), señala que la energía solar residencial en tejados puede brindar a los propietarios ahorros en las facturas a largo plazo o previsibilidad de precios y, cuando se combina con baterías, puede proporcionar el valor agregado de energía de respaldo y protección contra condiciones climáticas extremas. Asimismo, ofrece muchos beneficios para el medio ambiente y los consumidores. Incluyendo la necesidad de reducir la necesidad de plantas de energía sucias y costosas líneas de transmisión, reducir costos y ayudar a mejorar la capacidad de la red para resistir condiciones climáticas extremas y otros impactos.

(Wiatros & Ember, 2023) sostiene que las políticas que fomentan el uso generalizado de energía solar en los tejados pueden ayudar a reducir los costes reales de la electricidad del país. Esta política actual reducirá efectivamente la dependencia de los combustibles fósiles importados. Además, un panel solar en tejado será más económico y eficiente porque genera energía nada más consumirla y no requiere terreno.

4.2. Determinación de la radiación solar para el área útil calculada.

La radiación solar de la UNTRM según el área útil calculada es de 46050262.68 megavatios-hora (MWh). Según (Martín, et al, 2015), la radiación que recibe cada cubierta depende de su orientación, de las características estructurales del edificio y de las edificaciones adyacentes, y de la presencia de vegetación que determina el grado de sombreado.

Según (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGIM), 2022), la radiación solar se presenta en dos formas: radiación directa y radiación difusa. La radiación directa es la radiación emitida directamente desde una fuente solar sin reflexión ni refracción intermedia. El cielo diurno emite un resplandor difuso debido a la reflexión y refracción del sol por diversas nubes y diferentes elementos terrestres y atmosféricos. La directa radiación se puede reflejar y utilizar de forma concentrada, mientras que la luz dispersa no se puede concentrar porque proviene de múltiples direcciones. Sin embargo, ambos tipos de radiación están disponibles.

Tabla 13. Radiación Solar de cada edificio disponible para la instalación de paneles solares.

Radiación Solar de la UNTRM					
N°	Polígonos	Radiación MWh	N°	Polígonos	Radiación MWh
1	Edificio	571732.07	31	Edificio	606462.26
2	Edificio	563440.02	32	Edificio	609708.49
3	Edificio	591155.38	33	Edificio	569560.7
4	Edificio	527730.22	34	Edificio	109801.5
5	Edificio	570125.72	35	Edificio	635124.65
6	Edificio	536483.25	36	Edificio	1040975.42
7	Edificio	1046988.33	37	Edificio	1743099.16
8	Edificio	1096466.35	38	Edificio	302681.89
9	Edificio	240071.14	39	Edificio	456300.02
10	Edificio	289740.69	40	Edificio	159858.07
11	Edificio	369480.8	41	Edificio	3095639.48
12	Edificio	440913.29	42	Edificio	515923.41
13	Edificio	584974.46	43	Edificio	3082661.36
14	Edificio	517419.61	44	Edificio	1190424.68
15	Edificio	640218.04	45	Edificio	1387214.59
16	Edificio	598393.61	46	Edificio	943173.58
17	Edificio	546807.17	47	Edificio	1685476.87
18	Edificio	658315.5	48	Edificio	807549.49
19	Edificio	599318.35	49	Edificio	1905172.23
20	Edificio	967619.96	50	Edificio	494482.54
21	Edificio	750135.67	51	Edificio	693571.84
22	Edificio	245295	52	Edificio	1505309.92
23	Edificio	192956.91	53	Edificio	612380.48
24	Edificio	86656.55	54	Edificio	185490.09
25	Edificio	66483.95	55	Edificio	1773852.35
26	Edificio	378795.65	56	Edificio	111809.63
27	Edificio	688694	57	Edificio	1519753.23
28	Edificio	1063165.29	58	Edificio	1658764.81
29	Edificio	909415.81	59	Edificio	108528.29
30	Edificio	130277.37	60	Edificio	70241.49
Total		46050262.68			

Fuente: elaboración propia

4.3. Determinación del posible potencial fotovoltaico para las condiciones específicas de la (UNTRM) a lo largo de un año.

El posible potencial fotovoltaico de la UNTRM a lo largo de un año es de 5940483.87 Mwh, se considera la eficiencia de 16% y una ratio de rendimiento de 86% según Agencia de Protección Ambiental (EPA). Como resultado, los paneles solares son capaces de ahorrar 86% de electricidad en toda la instalación, convirtiendo el 16% de la energía del sol en electricidad. (Martín, et al, 2015), señala que La electricidad instalada en cada edificio

depende de la radiación solar recibida cada año, la superficie de tejado disponible para el montaje de módulos solares y su tecnología.

Para (Martín, et al, 2015), las diferentes tecnologías de potencial fotovoltaico utilizadas se dividen en dos tipos: silicio cristalino y película delgada. Aunque los métodos son diferentes, los dos grupos tienen características diferentes y se recomiendan caso por caso. La de silicio es la más utilizada y tiene una mayor potencia instalada.

Tabla 14. Posible energía o potencial fotovoltaico producida en la UNTRM

Posible energía producida de la UNTRM					
N°	Polígonos	Energía producida MWh	N°	Polígonos	Energía producida MWh
1	Edificio	73753.44	31	Edificio	78233.63
2	Edificio	72683.76	32	Edificio	78652.4
3	Edificio	76259.04	33	Edificio	73473.33
4	Edificio	68077.2	34	Edificio	14164.39
5	Edificio	73546.22	35	Edificio	81931.08
6	Edificio	69206.34	36	Edificio	134285.83
7	Edificio	135061.49	37	Edificio	224859.79
8	Edificio	141444.16	38	Edificio	39045.96
9	Edificio	30969.18	39	Edificio	58862.7
10	Edificio	37376.55	40	Edificio	20621.69
11	Edificio	47663.02	41	Edificio	399337.49
12	Edificio	56877.81	42	Edificio	66554.12
13	Edificio	75461.7	43	Edificio	397663.32
14	Edificio	66747.13	44	Edificio	153564.78
15	Edificio	82588.13	45	Edificio	178950.68
16	Edificio	77192.78	46	Edificio	121669.39
17	Edificio	70538.12	47	Edificio	217426.52
18	Edificio	84922.7	48	Edificio	104173.88
19	Edificio	77312.07	49	Edificio	245767.22
20	Edificio	124822.98	50	Edificio	63788.25
21	Edificio	96767.5	51	Edificio	89470.77
22	Edificio	31643.06	52	Edificio	194184.98
23	Edificio	24891.44	53	Edificio	78997.08
24	Edificio	11178.69	54	Edificio	23928.22
25	Edificio	8576.43	55	Edificio	228826.95
26	Edificio	48864.64	56	Edificio	14423.44
27	Edificio	88841.53	57	Edificio	196048.17
28	Edificio	137148.32	58	Edificio	213980.66
29	Edificio	117314.64	59	Edificio	14000.15
30	Edificio	16805.78	60	Edificio	9061.15
Total		5940483.87			

Fuente: Elaboración propia

(Castellanos & Acha, 2023) indica que España es el país europeo con mayor potencial fotovoltaico, además de tener el beneficio de tener grandes mesetas para poder captar toda esa radiación. Toda esa radiación puede ser aprovechada por captadores fotovoltaicos para generar electricidad de una manera renovable y limpia. España es uno de los 10 países del mundo con una mayor instalación de potencia fotovoltaica.

(Castellanos & Acha, 2023) el potencial solar depende de la exposición al sol, la latitud y la trayectoria del sol, la inclinación y la orientación. Para plantear un envolvente más optimizada para la captación solar, se hace un estudio de la mejor posible inclinación y orientación.

V. CONCLUSIONES

1. La UNTRM comprende un total de 80 edificaciones siendo un área total de 41268.356 m², de los cuales el 85.49% de las edificaciones se encuentran disponibles para albergar la instalación fotovoltaica, lo cual representa un área total de 35278.366 m² siendo un total de 60 edificios.
2. La radiación solar de la UNTRM según el área útil calculada es de 46050262.68 megavatios-hora (MWh), para obtener este resultado se tuvo en cuenta pendientes menores a 45°, radiación solar superior a 800 kWh/m² y los edificios que no están orientados al norte.
3. El posible potencial fotovoltaico de la UNTRM a lo largo de un año es de 5940483.87 MWh, se llegó a esta conclusión teniendo en cuenta Se utilizó la tecnología policristalina para cumplir con criterios técnicos y económicos, es decir, costos de mercado, adaptabilidad al clima cálido de Chachapoyas, ya que el sistema es más adecuado para afrontar el sobrecalentamiento al absorber el calor más rápido, eficiencia de 16% y una ratio de rendimiento de 86%. Lo cual indica que los paneles solares son capaces de preservar 86% de electricidad en toda la instalación, convirtiendo el 16% de la energía del sol en electricidad.

VI. RECOMENDACIONES

1. Hacer el uso correspondiente a estos mapas temáticos (radiación estimada y energía producida) para ciudadanos o empresarios interesados en el uso de fuentes de energía no convencionales.
2. Para futuras investigaciones, se recomienda utilizar un modelo digital tridimensional generado por tecnología LIDAR porque proporcionará una descripción suficiente del entorno urbano y recopilará información con mayor rapidez en áreas más amplias.
3. Analizar la eficacia de la energía de las instalaciones del campus a través de mejoras internas básicas, como sustituir toda la iluminación por LED, reducirán la ratio de cobertura entre la producción y el consumo de electricidad, haciéndolo más atractivo para el mercado.

VII.REFERENCIAS

- Alcantara, R. E. (2018). Rendimiento De Sistema Fotovoltaico De 500 Wp En Estar Estudiantil De La Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas Chachapoyas, Amazonas.
<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1544/Bautista%20Alcantara%20Roicer%20Esmi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Alonso, F. F. (2019). Estudio del uso real y potencial de energía solar a nivel mundial a partir de cartografía de radiación solar y variables socioeconómicas.
- ArcGIS, Learn. (2020). Estimar el potencial de energía solar.
<https://doi.org/https://learn.arcgis.com/es/projects/estimate-solar-power-potential/>
- Castellanos Esteban, L., & Acha Roman, C. (2023). Potencial Fotovoltaico integrado en la Arquitectura. España.
https://oa.upm.es/72524/1/TFG_Ene23_Castellanos_Esteban_Laura.pdf
- CEA. (2009). Sistema de Información Geográfica.
- Comisión Europea (COM). (2022). La energía solar: aprovechando el poder del sol. Europa.
https://doi.org/https://commission.europa.eu/news/focus-solar-energy-harnessing-power-sun-2022-09-13_es
- Cruz, W. C. (2014). Optimización Del Sistema Solar Fotovoltaico Para La Generación De Energía Eléctrica En Viviendas Aisladas Altoandinas .
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/296/TEMEC_15.pdf?sequence=1.
- Daniel, C. X. (2020). Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias: caso de estudio unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18646/4/UPS-GT002920.pdf>.
- Espinoza, L. (18 de diciembre de 2020). Conexión Esan. Energías renovables en Perú: tipos, características y situación actual. Lima, Lima, Perú.
<https://doi.org/https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/energias-renovables-en-peru-tipos-caracteristicas-y-situacion-actual>

- García, Y. K. (2021). Estimación del potencial de generación de energía solar en el norte del Caribe Colombiano. <https://doi.org/https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/10199#page=1>
- González, E. B. (2021). Análisis de la efectividad y viabilidad de los negocios enfocados en plantas solares fotovoltaicas, a nivel global, como solución alternativa a la problemática ambiental y a la crisis energética mundial. <https://doi.org/https://repositorio.ulatina.ac.cr/handle/20.500.12411/1709>
- INRENA, Internacional Renewable Energy Agency. (2017). Transformando el Sistema Energético. IRENA, 12. https://doi.org/https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Transforming_2019_ES.pdf
- Martín Avila, A. M., Amador Guerra, J., & Domínguez, J. (2015). Estudio del Potencial Fotovoltaico sobre los Tejados del Núcleo Urbano de Madrid. https://www.researchgate.net/publication/283258576_Estudio_del_Potencial_Fotovoltaico_sobre_los_Tejados_del_Nucleo_Urbano_de_Miraflores_de_la_Sierra_Madrid?enrichId=rgreq-2faa9b98cda69496aef27ce20706990c-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4MzI1ODU3NjtBUzoyOD
- Mendoza, S. C. (2022). Evaluación del proyecto de generación fotovoltaica en el sector industrial textil ecuatoriano mediante la incorporación de empresas de servicios energéticos. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042703>
- Moa, D. B. (28 de febrero de 2023). La energía fotovoltaica en el mundo. Norvento Enerxia, 3. <https://doi.org/https://www.norvento.com/blog/la-energia-fotovoltaica-en-el-mundo/>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGIM). (2022). Energía Solar. <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/energia-solar/que-es-la-energia-solar>
- Perez, L. J. (2023). Áreas Idóneas Para Sistemas Fotovoltaicos Basado En Proceso Analítico Jerárquico (Paj) Y Sistemas De Información Geográfica (Sig) En Amazonas. <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2627/Jul%C3%B3n%20Perez%20Leiber.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Pontífica Universidad Católica del Perú, PUCP. (1 de Marzo de 2017). El desarrollo de la energía solar en el Perú. Grupo de apoyo al sector rural, 2. <https://doi.org/https://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>
- PV, M. (30 de Mayo de 2024). La energía fotovoltaica en tejados podría satisfacer el 45% de la demanda de electricidad de EE. UU., dice Environment America. Massachusetts, Mexico: <https://reads.alibaba.com/es/author/pv-magazine/>.
- Quintasi, M. E. (2020). “Análisis de la situación de las energías renovables en el Perú y su aplicación en proyectos de electrificación rural”. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18244/MU%C3%91OZ_QUINTASI_MARCOS_ANALISIS_SITUACION_ENERGIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Santos, D. B. (2020). Introducción a la Energía Fotovoltaica. <https://doi.org/https://es.scribd.com/document/386464517/IntroducciA-n-a-la-EnergA-a-Fotovoltaica>
- Solarama. (2019). Tipos de sistemas fotovoltaicos y sus principales características. <https://doi.org/https://dynamicenergy.com.ar/noticias/glosario-fotovoltaico-tipos-de-sistemas-y-componentes/#:~:text=Hay%20tres%20tipos%20principales%20de,estructuras%20y%20soportes%20para%20montaje>.
- Terbullino, A. P. (2020). Análisis De La Viabilidad De La Implementación De Un Sistema Fotovoltaico En Una Vivienda Rural En Cusco. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18209/P%C3%81RRAGA_TERBULLINO_ANGHIE_AN%C3%81LISIS_VIABILIDAD_IMPLMENTACI%C3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Tupac, Y. H. (2018). Rendimiento De Un Panel Solar Fotovoltaico. https://www.academia.edu/36726411/Rendimiento_de_un_panel_solar_PROSTAN_de_120_Wp_EPIER.
- Universidad Nacional Pública de Navarra (UPNA). (Noviembre de 2022). Potencial Solar en Cubiertas. Navarra calcula su potencial solar en cubiertas.

<https://doi.org/https://storymaps.arcgis.com/stories/00b4dc4719594f10940d382c153b9af5>

Villaseca Calle, P. W. (2020). “Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en el Perú”.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/55584/Villaseca_CPW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Wiatros Motyka, M., & Ember, G. E. (1 de Abril de 2023). https://doi.org/https://ember-climate.org/app/uploads/2023/04/Global-Electricity-Review-2023_ES.pdf

VIII. ANEXOS



Figura 5. Equipos para vuelo fotogramétrico.



Figura 6. Vuelo Fotogramétrico.