

ESTIMACIÓN DE RECURSO SOLAR USANDO EL SOFTWARE PVGIS: UN ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS BASES DE DATOS NSRDB Y ERA5.

Anthony J. Hernández Bautista, Fabián A. González Ramírez, Sarah R. Messina Fernández.
Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Tepic, Nayarit, 63170, México, (311) 211 88 00,
anthony.hernandez@uan.edu.mx

RESUMEN

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) es una aplicación web satelital de acceso libre para la estimación de recurso solar y evaluación de desempeño de tecnologías solares. En marzo de 2022 PVGIS lanzó la versión 5.2, que utiliza la base de datos PVGIS-ERA5. En este trabajo se presenta un análisis comparativo entre las bases de datos “PVGIS-NSRDB” del National Renewable Energy Laboratory (NREL) y el National Solar Radiation Database, que contiene información correspondiente al periodo 2005 - 2015 y la base de datos “PVGIS-ERA5” del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas con información correspondiente al periodo 2005 - 2020. La información analizada se aplicará al estudio de sitios con potencial para el desarrollo de actividades agroturísticas impulsadas con energía solar que generen beneficios económicos, ambientales y sociales en comunidades rurales de las distintas zonas geográficas del estado de Nayarit, como estrategia de desarrollo sustentable.

Palabras clave: energía solar, irradiación, agroturismo, PVGIS-NSRDB, PVGIS-ERA5.

ABSTRACT

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) is a satellite web application for solar resource estimation and evaluation of performance of solar technologies. In march 2022 PVGIS released version 5.2, which use the PVGIS-ERA5 database. This work presents a comparative analysis between the databases “PVGIS-NSRDB” of the National Renewable Energy Laboratory (NREL) and the National Solar Radiation Database, which contains information corresponding to the period 2005 – 2015, and the database “PVGIS-ERA5” of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts whit information corresponding of the period 2005 - 2020. The information analyzed will be used to study sites with potential for the development of agrotourism activities powered by solar energy that generate economic, environmental and social benefits in rural communities from the estate of Nayarit, as a sustainable development strategy.

Keywords: solar energy, irradiation, agrotourism, PVGIS-NSRDB, PVGIS-ERA5.

INTRODUCCIÓN

Nayarit tiene una población total de 1, 235, 456 personas, el 68.9% habita en zonas urbanas y en comunidades rurales el 31.1%. En términos económicos, el sector primario aporta el 20.6%; el sector secundario el 16.0% y el terciario el 62.9%. Es decir, cerca de 100,745 personas en Nayarit se dedican a la agricultura, aproximadamente el 16.15% de la población total [1]. Las regiones agrícolas de Nayarit producen una gran variedad de frutas de importancia para el mercado nacional e internacional como: guanábana, yaca, mango, piña, plátano, sandía, coco y arándano. Además, Nayarit tiene una producción notable de caña de azúcar, maíz, sorgo, frijol, arroz y aguacate. Todo esto hace de Nayarit un “Estado agrícola” [2].

El sector turismo de Sol y Playa en Nayarit también es considerado un motor importante en la economía, ya que aporta el 7.0% al PIB estatal, esto debido a los atributos físicos, geográficos y sus casi 230 km de litoral con el océano pacífico del estado, lo cual hace de Nayarit un lugar megadiverso [3].

El agroturismo es una herramienta que ha permitido conectar actividades agrícolas con turísticas, los resultados han sido favorables, pues incrementa el interés por los cultivos y atractivos locales, permitiendo que la sociedad local desarrolle nuevas actividades en sus sitios de origen [4].

El presente trabajo parte por identificar la disponibilidad de radiación solar de distintas comunidades rurales del estado de Nayarit a través de la comparación de información empleando dos bases de datos (PVGIS-NSRDB y PVGIS-ERA5) a fin de identificar sitios con potencial para el aprovechamiento del recurso solar, lo cual, permitirá el impulso de actividades agroturísticas por medio de técnicas de deshidratado de productos agrícolas con tecnología solar, en la cual se evite el desperdicio de frutos y de valor agregado a los productos del campo, y así impulsar el desarrollo de actividades turísticas en sitios rurales y agrícolas de Nayarit [5][6].

PVGIS es una aplicación web que la unión europea ha puesto a disposición de forma gratuita en su portal de internet, esta herramienta permite estimar el recurso solar disponible y el rendimiento de un sistema fotovoltaico para casi cualquier sitio del mundo, incluida la región de América

del Norte y todo el territorio de la República Mexicana. PVGIS ofrece distintas Bases de Datos de Radiación Solar, en específico la (NSRDB) ofrece datos abiertos al público con un periodo de más de veinte años. La NSRDB proporciona datos de irradiación solar a una resolución horizontal de 4 km con intervalos de 30 minutos usando el Modelo PSM del Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL) [7].

México cuenta con abundante recurso solar, con base en el análisis de una base de datos solarimétrica para México, donde se estima una irradiación diaria promedio de 5.5 kWh/m²/día para todo el país [8] [9], el conocimiento de la disponibilidad solar es importante para el éxito de los proyectos de energías renovables en sitios con abundante recurso energético, así como la planificación técnica y financiera.

Recientemente se publicó en el Diario Oficial de México el Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024. Uno de los objetivos prioritarios del programa es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, para generar un desarrollo con bienestar social y sobre todo que sea acompañado del conocimiento científico. Para ello, una estrategia prioritaria es impulsar la transición energética, con énfasis en fuentes limpias, bajo un enfoque de derechos humanos para promover su generación y uso sustentable e incluyente. Por lo cual, garantizar la sostenibilidad de las comunidades rurales debe ser una tarea primordial de cualquier país, con la finalidad de proveer el bienestar social.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo tiene la finalidad de comparar de manera cuantitativa la cantidad de irradiación solar que incide en cada una de las áreas de estudio empleando dos bases de datos (*PVGIS-NSRDB* y *PVGIS-ERA5*) puesto que ofrecen información en distintos periodos de tiempo.

Tal comparativa permitirá identificar el sitio con mayor cantidad de irradiación solar, y así, poder impulsar el desarrollo de actividades agroturísticas junto al uso de la energía solar, donde el proceso de deshidratado de productos agrícolas sería la actividad principal para impulsar el desarrollar de rutas o visitas guiadas hacia los turistas y así diversificar las actividades turísticas sostenibles de los sitios rurales, con la finalidad de generar beneficios económicos y sociales en las comunidades rurales de Nayarit.

Sitio de estudio

La representación gráfica de los sitios de estudio se realizó empleando el software QGIS [10]. La figura 1 muestra la ubicación de las 6 comunidades rurales, las cuales se encuentran distribuidas en 5 de las 6 regiones económicas del estado de Nayarit.



Figura 1. Localización geográfica de las áreas de estudio.

Adquisición de la información

La obtención de la información satelital de irradiación solar fue mediante la herramienta PVGIS. La información se obtuvo a través del portal web de *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. La descarga se realizó por medio de distintas bases de datos, en primera instancia, se empleó la base de datos *PVGIS-NSRDB* del *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* para obtener información de "Irradiancia global horizontal" por medio de la herramienta "TMY" (Año meteorológico típico) durante el periodo de 2005 a 2015, posteriormente, mediante el uso de la versión 5.2, se descargó información de la base de datos *PVGIS-ERA5* del *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* para obtener información "Irradiancia global horizontal" por medio de la herramienta "Datos horarios de radiación" durante el periodo de 2005 a 2020. La temporalidad de los datos respecto a la base de datos *PVGIS-NSRDB* y *PVGIS-ERA5* está definida en una hora [11].

Procesamiento de la información

La disponibilidad de energía solar, se estimó mediante la media aritmética (promedio) de la irradiación diaria por mes para cada una de las

bases de datos (*PVGIS-NSRDB* y *PVGIS-ERA5*), los resultados muestran el promedio diario, mensual y anual de irradiación global por localidad. El procesamiento estadístico de los datos, se realizó mediante Microsoft Excel.

Unidades de medición

La irradiancia (**G**) es la cantidad de potencia recibida al instante proveniente del Sol en una unidad de superficie terrestre, comúnmente se representa en W/m^2 . La irradiación (**I**) es la cantidad de energía recibida durante un periodo definido, comúnmente se representa en kWh/m^2 . La hora-solar-pico (**HSP**) es una magnitud que representa el número de horas en la cual se recibe irradiación solar de ($1000 W/m^2$), es decir: $1 HSP = 1 kWh/m^2$.

RESULTADOS

Recurso solar en San José de Motaje, Acajoneta, Nayarit.

A continuación, se muestra para cada localidad, los resultados de la evaluación de disponibilidad del recurso solar de las 6 localidades rurales del estado de Nayarit. Para cada sitio se presenta el promedio diario durante cada mes de irradiación (**I**), con sus respectivas barras de error, calculadas a partir de la desviación estándar de los datos de irradiación diaria.

La figura 2 a) ilustra que empleando la base de datos *PVGIS-NSRDB*, en San José de Motaje, Acajoneta; el promedio diario de **I** es superior a la media nacional de $5.5 kWh/m^2 \cdot día$; durante 7 meses: de febrero a agosto. Los meses con valores de **I** más altos son abril y mayo con hasta $7.59 kWh/m^2 \cdot día$ o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son enero y de junio a septiembre con un máximo de $1.45 kWh/m^2$. El promedio anual es de $I = 5.88 kWh/m^2 \cdot día$.

En b) se ilustra que empleando la base de datos *PVGIS-ERA5*, en San José de Motaje, Acajoneta; el promedio diario de **I** es superior a la media nacional de $5.5 kWh/m^2 \cdot día$; durante 5 meses: de febrero a junio. Los meses con valores de **I** más altos son abril y mayo con hasta $7.62 kWh/m^2 \cdot día$ o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son febrero, marzo y de julio a octubre con un máximo de $1.54 kWh/m^2$. El promedio anual es de $I = 5.64 kWh/m^2 \cdot día$.

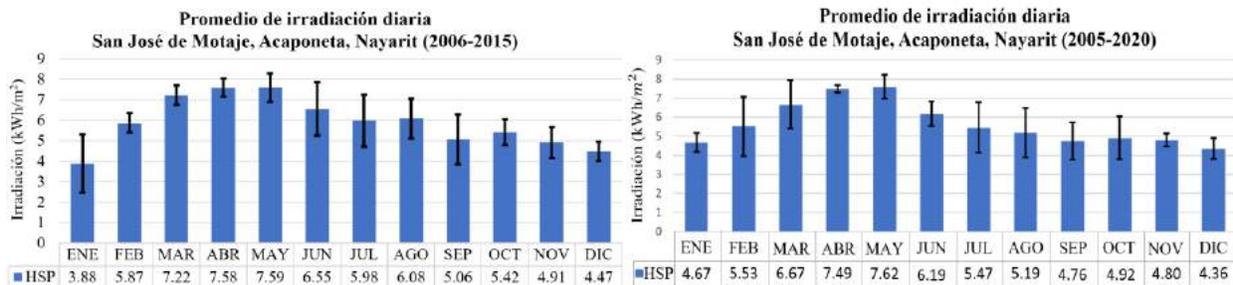


Figura 2. Comparación de disponibilidad de recurso solar en la localidad San José de Motaje, Acajoneta, Nayarit.

a) base de datos PVGIS-NSRDB.

b) base de datos PVGIS-ERA5.

Recurso solar en Mesa Del Navar, Del Navar, Nayarit.

La figura 3 a) se ilustra que empleando la base de datos *PVGIS-NSRDB*, en Mesa Del Navar, Del Navar; el promedio diario de **I** es superior a la media nacional de $5.5 kWh/m^2 \cdot día$; durante 9 meses: de febrero a octubre. Los meses con valores de **I** más altos son abril y mayo con hasta $8.02 kWh/m^2 \cdot día$ o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son enero y de junio a noviembre con un máximo de $1.43 kWh/m^2$. El promedio anual es de $I = 6.4 kWh/m^2 \cdot día$.

En b) se ilustra que empleando la base de datos *PVGIS-ERA5*, en Mesa Del Navar, Del Navar; el promedio diario de **I** es superior a la media nacional de $5.5 kWh/m^2 \cdot día$; durante 5 meses: de febrero a junio. Los meses con valores de **I** más altos son abril y mayo con hasta $7.59 kWh/m^2 \cdot día$ o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son febrero, marzo y de julio a octubre con un máximo de $1.56 kWh/m^2$. El promedio anual es de $I = 5.65 kWh/m^2 \cdot día$.

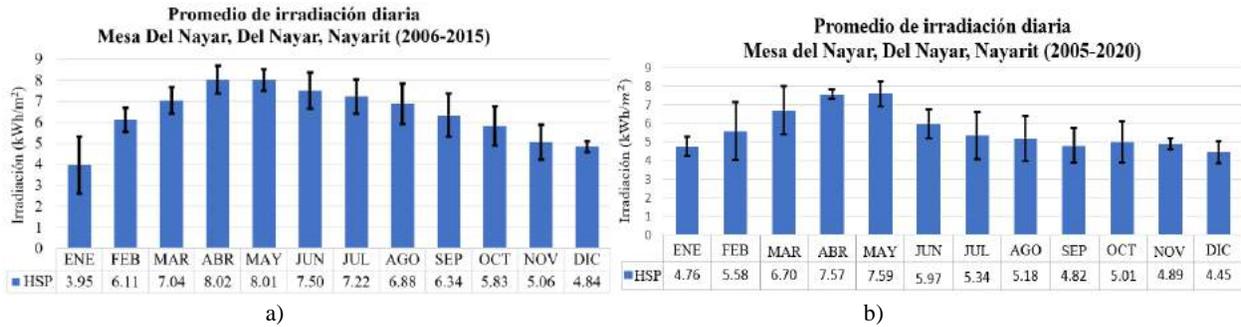


Figura 3. Comparación de disponibilidad de recurso solar en la localidad Mesa Del Nayar, Del Nayar, Nayarit.
a) base de datos PVGIS-NSRDB. b) base de datos PVGIS-ERA5.

Recurso solar en El Llano, San Blas, Nayarit

La figura 4 a) se ilustra que empleando la base de datos PVGIS-NSRDB, en El Llano, San Blas; el promedio diario de I es superior a la media nacional de $5.5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$; durante 8 meses: de febrero a agosto y septiembre. Los meses con valores de I más altos son abril y mayo con hasta $7.6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$ o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son enero y de junio a octubre con un máximo de 1.39 kWh/m^2 . El promedio anual es de $I = 5.95 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$.

En b) se ilustra que empleando la base de datos PVGIS-ERA5, en El Llano, San Blas; el promedio diario de I es superior a la media nacional de $5.5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$; durante 4 meses: de marzo a junio. Los meses con valores de I más altos son abril y mayo con hasta $7.36 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$ o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son febrero, marzo y de mayo a octubre con un máximo de 1.50 kWh/m^2 . El promedio anual es de $I = 5.48 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$.

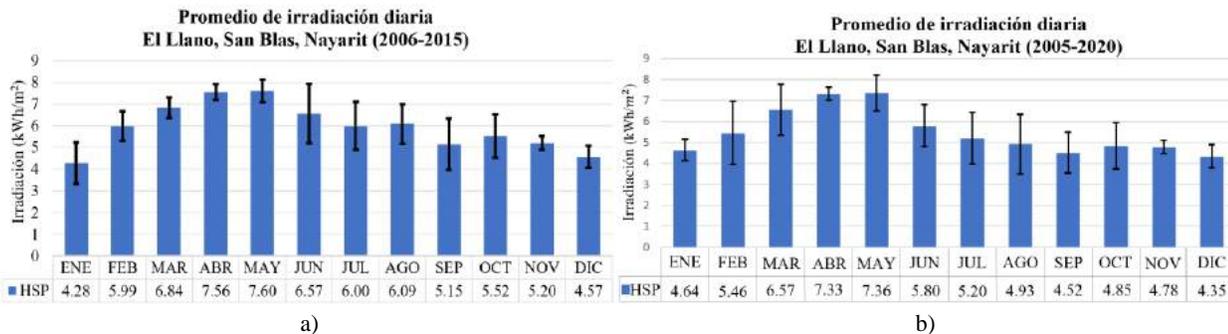
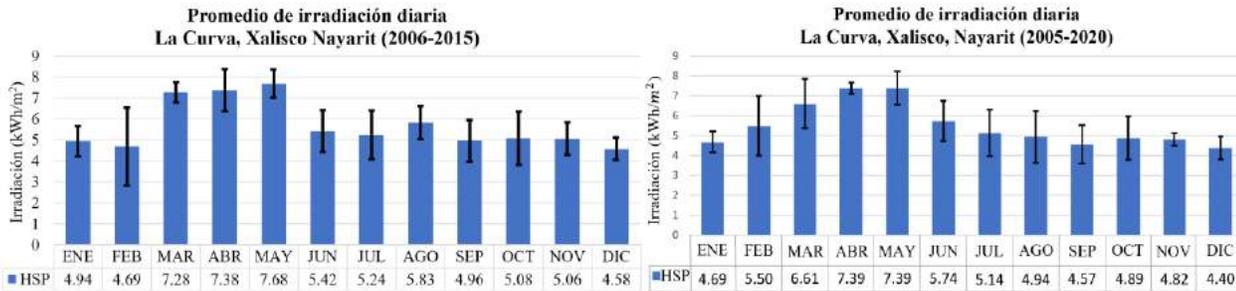


Figura 4. Comparación de disponibilidad de recurso solar en la localidad El Llano, San Blas, Nayarit.
a) base de datos PVGIS-NSRDB. b) base de datos PVGIS-ERA5.

Recurso solar en La Curva, Xalisco, Nayarit.

La figura 5 a) se ilustra que empleando la base de datos PVGIS-NSRDB, en La Curva, Xalisco; el promedio diario de I es superior a la media nacional de $5.5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$; durante 4 meses: de marzo a mayo y agosto. Los meses con valores de I más altos son abril y mayo con hasta $7.68 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$ o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son febrero, abril, julio y octubre con un máximo de 1.86 kWh/m^2 . El promedio anual es de $I = 5.69 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$.

En b) se ilustra que empleando la base de datos PVGIS-ERA5, en La Curva, Xalisco; el promedio diario de I es superior a la media nacional de $5.5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$; durante 5 meses: de febrero a junio. Los meses con valores de I más altos son abril y mayo con hasta $7.39 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$ o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son febrero, marzo y de junio a octubre con un máximo de 1.50 kWh/m^2 . El promedio anual es de $I = 5.50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$.



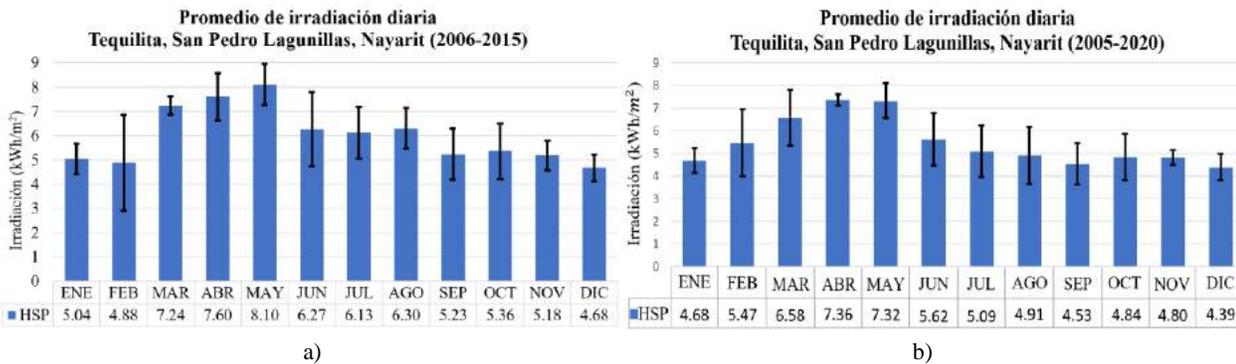
a) base de datos PVGIS-NSRDB. b) base de datos PVGIS-ERA5.

Figura 5. Comparación de disponibilidad de recurso solar en la localidad La Curva, Xalisco, Nayarit.

Recurso solar en Tequilita, San Pedro Lagunillas, Nayarit.

La figura 6 a) se ilustra que empleando la base de datos PVGIS-NSRDB, en Tequilita, San Pedro Lagunillas; el promedio diario de **I** es superior a la media nacional de 5.5 kWh/m²*día; durante 6 meses: de marzo a agosto. Los meses con valores de **I** más altos son abril y mayo con hasta 8.1 kWh/m²*día o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son febrero, abril, junio, julio, septiembre y octubre con un máximo de 2.02 kWh/m². El promedio anual es de **I** = 6.01 kWh/m²*día.

En b) se ilustra que empleando la base de datos PVGIS-ERA5, en Tequilita, San Pedro Lagunillas; el promedio diario de **I** es superior a la media nacional de 5.5 kWh/m²*día; durante 4 meses: de marzo a junio. Los meses con valores de **I** más altos son abril y mayo con hasta 7.36 kWh/m²*día o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son febrero, marzo y de junio a agosto con un máximo de 1.48 kWh/m². El promedio anual es de **I** = 5.46 kWh/m²*día.



a) base de datos PVGIS-NSRDB. b) base de datos PVGIS-ERA5.

Figura 6. Comparación de disponibilidad de recurso solar en la localidad Tequilita, San Pedro Lagunillas, Nayarit.

Recurso solar en Los Aguajes, Jala, Nayarit.

La figura 7 a) se ilustra que empleando la base de datos PVGIS-NSRDB, en Los Aguajes, Jala; el promedio diario de **I** es superior a la media nacional de 5.5 kWh/m²*día; durante 9 meses: de febrero a octubre. Los meses con valores de **I** más altos son abril y mayo con hasta 7.75 kWh/m²*día o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son enero y de abril a octubre con un máximo de 1.45 kWh/m². El promedio anual es de **I** = 6.23 kWh/m²*día.

En b) se ilustra que empleando la base de datos PVGIS-ERA5, en Los Aguajes, Jala; el promedio diario de **I** es superior a la media nacional de 5.5 kWh/m²*día; durante 5 meses: de febrero a junio. Los meses con valores de **I** más altos son abril y mayo con hasta 7.51 kWh/m²*día o su equivalente en HSP. Los meses que muestran mayor desviación estándar respecto a la irradiación diaria son febrero y junio con un máximo de 1.47 kWh/m². El promedio anual es de **I** = 5.71 kWh/m²*día.

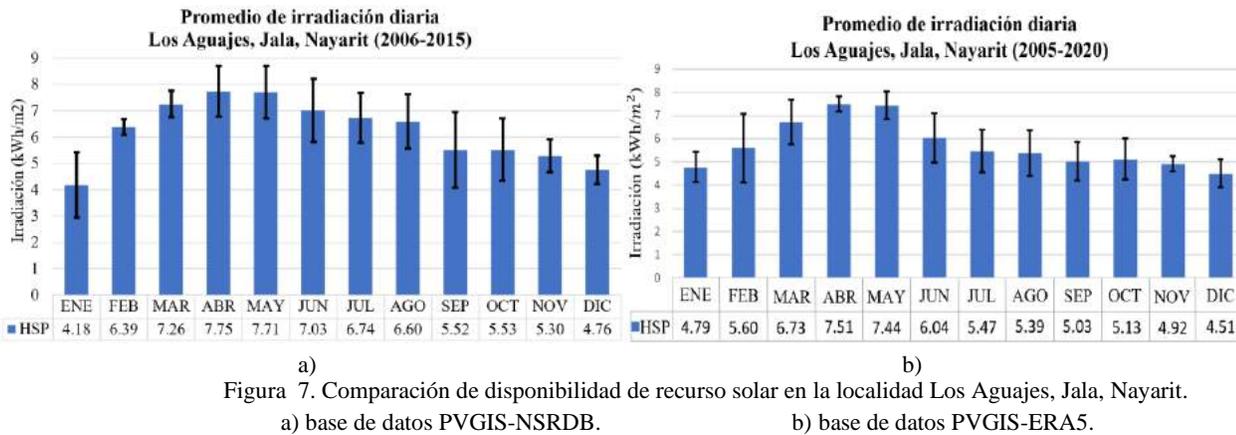


Figura 7. Comparación de disponibilidad de recurso solar en la localidad Los Aguajes, Jala, Nayarit.
a) base de datos PVGIS-NSRDB. b) base de datos PVGIS-ERA5.

Comparación de disponibilidad del recurso solar en las 6 localidades rurales de Nayarit.

En la figura 8 a) se muestra el resultado de disponibilidad de energía solar para las 6 localidades empleando la base de datos *PVGIS-NSRDB*. La localidad con mayor disponibilidad de energía solar durante todo el año es Mesa del Nayar, con un promedio diario de $I = 6.4 \text{ kWh/m}^2$. Por otro lado, la localidad con menor disponibilidad es La Curva con $I = 5.69 \text{ kWh/m}^2$. La localidad de Tequilita, es la que muestra mayor desviación con $\sigma = 0.96 \text{ kWh/m}^2$, su valor de media anual es $I = 6.01 \text{ kWh/m}^2$ lo cual implica la probabilidad de esperar valores de I entre 5 y 7 kWh/m^2 ; valor superior a las localidades con menor variabilidad, a excepción de Los Aguajes y Mesa del Nayar.

En la figura 8 b) se muestra el resultado de disponibilidad de energía solar para las 6 localidades empleando la base de datos *PVGIS-ERA5*. La localidad con mayor disponibilidad de energía solar durante todo el año es Los Aguajes, con un promedio diario de $I = 5.71 \text{ kWh/m}^2$. Por otro lado, la localidad con menor disponibilidad es Tequilita con $I = 5.46 \text{ kWh/m}^2$. La localidad de San José de Motaje, es la que muestra mayor desviación con $\sigma = 1.1 \text{ kWh/m}^2$, su valor de media anual es $I = 5.63 \text{ kWh/m}^2$ día, lo cual implica la probabilidad de esperar valores de I entre 4.53 y 6.73 kWh/m^2 día; valor superior a las localidades Tequilita, El Llano, La Curva y Los Aguajes, a excepción Mesa del Nayar ya que tiene la misma probabilidad de llegar a valores de hasta 6.73 kWh/m^2 día.

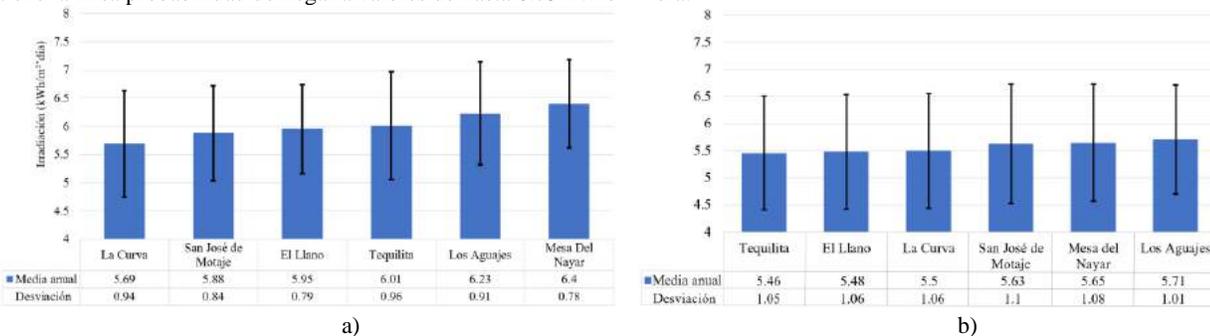


Figura 8. Comparación de disponibilidad de recurso solar en localidades rurales de Nayarit.
a) base de datos PVGIS-NSRDB. b) base de datos PVGIS-ERA5.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos empleando las bases de datos *PVGIS-NSRDB* y *PVGIS-ERA5* proporcionan información con la cual se puede identificar en qué mes existe mayor irradiación solar, es decir, permite identificar en las comunidades rurales de estudio, la temporada del año en donde el clima es más adecuado para el deshidratado de cultivos agrícolas y de esta manera conocer el sitio con mayor disponibilidad de energía solar, esto con la finalidad de poder impulsar el desarrollo de actividades agroturísticas durante determinadas temporadas del año.

- La comunidad con mayor potencial de energía solar anual de acuerdo con la base de datos *PVGIS-NSRDB* es Mesa del Nayar con un promedio diario de 6.4 kWh/m^2 día, y durante 9 meses el valor de irradiación solar supera el promedio de 5.5 kWh/m^2 día, siendo el mes de abril el de mayor recurso solar alcanzando los 8.02 kWh/m^2 día, mientras que el mes con menor cantidad de irradiación solar es enero con 3.95 kWh/m^2 día, empleando la base de datos *PVGIS-ERA5* el sitio con mayor recurso solar es Los Aguajes con 5.71 kWh/m^2 día, y durante 5 meses el valor de irradiación solar supera el promedio de 5.5 kWh/m^2 día, siendo el mes de abril el de mayor recurso solar alcanzando los 7.51 kWh/m^2 día, mientras que el mes con menor cantidad de irradiación solar es diciembre con 4.51 kWh/m^2 día.

- PVGIS es una herramienta de acceso libre a través de internet, para determinar la cantidad de irradiación solar en casi cualquier parte del mundo, debido a que proporciona información fundamental para sustentar nuevas investigaciones enfocados en el aprovechamiento de la energía solar, y obtener información confiable de variables como la irradiación solar, temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica, etc.
- La variación respecto a la cantidad de recurso solar anual comparando ambas bases de datos, se debe a que cada una cuenta con diferente cobertura temporal y espacial, es decir PVGIS-NSRDB (2005-2015) y PVGIS-ERA5 (2005-2020), además de ser información proporcionada por distintos modelos y laboratorios meteorológicos.
- Durante el desarrollo del trabajo, se observó que la base de datos PVGIS-ERA5 proporciona información de 16 años desde enero a diciembre, a cada día y cada hora, con lo cual se puede obtener el promedio total de periodo 2005 a 2020 y así tener mayor exactitud del comportamiento de la irradiación solar en las zonas de estudio, mientras que la base de datos PVGIS-NSRDB proporciona información representativa de cada mes en el periodo de 2005 a 2015, según la construcción del TMY, es decir, presenta datos mensuales de distintos años en el periodo de un año, por ejemplo, para enero puede presentar datos de 2007 y para febrero del 2013, y así sucesivamente para los demás meses, motivo por el cual, es probable que la información obtenida de la base de datos PVGIS-NSRDB no demuestre el comportamiento real de irradiación solar, puesto que en ciertos meses este valor de irradiación puede ser menor o superior al promedio que se puede obtener durante todos los años.
- Es recomendable hacer uso de la base de datos PVGIS-ERA5, ya que al presentar mayor cantidad de información y durante un periodo mucho más extenso (2005 - 2020), razón por la cual los resultados obtenidos son más fiables y más exactos, en comparación a los proporcionados por el TMY empleando la base de datos PVGIS-NSRDB.
- Se recomienda en el futuro, realizar mediciones *in situ* de las diferentes componentes de la radiación solar, con el objetivo de construir conocimiento sobre la disponibilidad y variabilidad del recurso solar con mayor resolución temporal en cada uno de los sitios de estudio, y así, tener la posibilidad de hacer estudios de contrastación entre modelos de estimación satelital y mediciones en superficie.
- Es trabajo a futuro determinar los atractivos naturales y culturales, a fin de determinar qué sitio tiene mayor potencial para el desarrollo de actividades turísticas, al igual que determinar el interés que muestran los agricultores en el desarrollo de actividades agroturísticas.

Agradecimientos

Al CONACYT a través del proyecto 319456 del fondo FORDECYT PRONACES.

REFERENCIAS

- [1] SIAP, *Infografía agroalimentaria 2019*. Ciudad de México, 2019.
- [2] SIAP, *Panorama agroalimentario 2020*. Ciudad de México, 2020. [Online]. Available: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020
- [3] IMCO, *Índice de competitividad estatal 2022*. Ciudad de México, 2022.
- [4] S. Domi and G. Belletti, "The role of origin products and networking on agritourism performance: The case of Tuscany," *Journal of Rural Studies*, vol. 90, pp. 113–123, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.JRURSTUD.2022.01.013.
- [5] T. Huld, R. Müller, and A. Gambardella, "A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa," *Solar Energy*, vol. 86, no. 6, pp. 1803–1815, Jun. 2012, doi: 10.1016/J.SOLENER.2012.03.006.
- [6] B. E. Psiloglou, H. D. Kambezidis, D. G. Kaskaoutis, D. Karagiannis, and J. M. Polo, "Comparison between MRM simulations, CAMS and PVGIS databases with measured solar radiation components at the Methoni station, Greece," *Renewable Energy*, vol. 146, pp. 1372–1391, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2019.07.064.
- [7] M. Sengupta, Y. Xie, A. Lopez, A. Habte, G. Maclaurin, and J. Shelby, "The National Solar Radiation Data Base (NSRDB)," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 89, pp. 51–60, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2018.03.003.
- [8] I. Renewable Energy Agency, "REmap 2030, Renewable Energy Prospects: Mexico," 2015. [Online]. Available: www.irena.org/remap
- [9] D. Riveros-Rosas, C. A. Arancibia-Bulnes, R. Bonifaz, M. A. Medina, R. Peón, and M. Valdes, "Analysis of a solarimetric database for Mexico and comparison with the CSR model," *Renewable Energy*, vol. 75, pp. 21–29, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.renene.2014.09.013.
- [10] QGIS, "Bienvenido al proyecto QGIS' Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto," 2022. <https://www.qgis.org/es/site/>.
- [11] PVGIS, "Photovoltaic Geographical Information System," 2022. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/