



Estudio comparativo de la disponibilidad de energía solar e índice UV en Tepic, Nayarit; con mediciones de una estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2 y de la Red Solarimétrica Mexicana.

Fabián González, Sarah Messina, Hada Tadeo, Anthony Hernández

Unidad Especializada de Energías Renovables, Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología, Calle Tres Ciudad Industrial, Tepic, Nayarit, 63173, México, 311471631, fagr5863@gmail.com

Adriana González

Instituto de Geofísica, UNAM. Circuito de la investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

RESUMEN

Este trabajo presenta el estudio comparativo de datos de disponibilidad de recurso solar e índice UV para la ciudad de Tepic, Nayarit, México. Los datos se obtienen a partir de las mediciones de una estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2 que utiliza el sensor de fotodiodo 6450 para medir la irradiancia global y el 6490 para estimar el índice UV, la estación está instalada en el Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología; dichos datos son comparados con las mediciones de una estación que forma parte de la Red Solarimétrica Mexicana instalada en el Campus de la Universidad Autónoma de Nayarit, que utiliza como sensores de irradiancia global el piranómetro CMP-11 y el biómetro-radiómetro 501 para la estimación del índice UV. El objetivo es construir la correlación entre las mediciones de ambas estaciones, mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson. Se utilizan datos medidos correspondientes a días con cielo despejado de un año calendario, comprendido del periodo de marzo de 2023 a febrero de 2024. Los resultados de este trabajo son de utilidad para precisar la estimación de disponibilidad y variabilidad de energía solar mediante el uso de estaciones meteorológicas de superficie que son utilizadas para evaluar el desempeño energético de prototipos de secado solar en el marco del proyecto “Modelo transdisciplinar para el bienestar de las comunidades agrícolas y rurales de Nayarit a través de la incorporación de tecnologías solares, hacia la sostenibilidad”, de los Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia (Pronaiis) en materia de Transición Energética.

ABSTRACT

This paper presents the comparative study of solar resource availability data and UV index for the city of Tepic, Nayarit, Mexico. The data are obtained from the measurements of a weather station DAVIS Vantage Pro 2 which uses the 6450 photodiode sensor to measure the global irradiance and the 6490 to estimate the UV index, the station is installed in the Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología; these data are compared with the measures of a station that is part of the Red Solarimétrica Mexicana installed at the Campus of the Universidad Autónoma de Nayarit, which uses as global radiation sensors the CMP-11 piranometer and the biometer-radiometer 501 for the estimation of the UV Index. The objective is to construct the correlation between the measurements of both stations, by calculating the Pearson Correlation Coefficient. Measured data for clear sky days of a calendar year for the period from March 2023 to February 2024 are used. The results of this work are useful to accurately estimate the availability and variability of solar energy using surface weather stations that are used to evaluate the energy performance of solar drying prototypes within the framework of the project “Modelo transdisciplinar para el bienestar de las comunidades agrícolas y rurales de Nayarit a través de la incorporación de tecnologías solares, hacia la sostenibilidad”, of the National Energy Transition Research and Incidence (Pronaiis) Projects.

Palabras claves: recurso solar, índice UV, Nayarit, Red Solarimétrica Mexicana, coeficiente de correlación de Pearson

INTRODUCCIÓN

Nayarit se ubica en una zona geográfica privilegiada para el aprovechamiento de la energía solar, pues se encuentra entre las líneas de latitud 23°05' norte y 20°36' sur, se estima que la irradiación media diaria es de 5.88 kWh/m²/día [1], superior al promedio nacional que es de 5.5 kWh/m²/día [2], [3], lo que lo posiciona dentro de los valores más altos a nivel global. Las tecnologías para aprovechar la energía solar dependen de la radiación solar disponible en la superficie terrestre, conocer con precisión la disponibilidad del recurso solar, es crucial para planificar, diseñar y proyectar sistemas solares eficientes. Para ello, se necesitan datos confiables de irradiancia solar medidos desde la superficie. Estos parámetros son esenciales para tomar decisiones informadas sobre la selección y dimensionamiento de tecnologías solares, asegurando un uso eficiente y sostenible de la energía. Por otro lado, generar conocimiento sobre la radiación ultravioleta incidente en la superficie, puede incidir en el estudio de los diversos campos de conocimiento, como lo es la salud pública, biología, climatología, ciencias de los materiales, etc. Este trabajo presenta el estudio comparativo de datos de disponibilidad de recurso solar e índice UV para la ciudad de Tepic, Nayarit, México. Los datos se obtienen a partir de las mediciones de una estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2 que utiliza el sensor de fotodiodo 6450 para medir la irradiancia global y el 6490 para estimar el índice UV, la estación está instalada en el Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología; dichos datos son comparados con las mediciones de una estación que forma parte de la Red Solarimétrica Mexicana instalada en el Campus de la Universidad Autónoma de Nayarit, que utiliza como sensores de irradiancia global el piranómetro CMP-11 y el biómetro-radiómetro 501 para la estimación del índice UV. Los resultados de este trabajo son de utilidad para precisar la estimación de disponibilidad y variabilidad de energía solar mediante el uso de estaciones meteorológicas de superficie que son utilizadas para evaluar el desempeño energético de prototipos de secado solar en el marco del proyecto “Modelo transdisciplinar para el bienestar de las comunidades agrícolas y rurales de Nayarit a través de la incorporación de tecnologías solares, hacia la sostenibilidad”, de los Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia (Pronaiis) en materia de Transición Energética.



OBJETIVO

El objetivo es construir la correlación de datos de disponibilidad de recurso solar e índice UV para la ciudad de Tepic, Nayarit, mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, a partir de las mediciones de una estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2, instalada en el Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología; comparados con las mediciones de una estación que forma parte de la Red Solarimétrica Mexicana instalada en el Campus de la Universidad Autónoma de Nayarit.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. Este trabajo se lleva a cabo en Tepic, es la capital del estado de Nayarit. Se localiza geográficamente en las coordenadas 21°30'26" N, 104°53'37" W, a una altitud de 926 msnm. Cuenta con un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura promedio es de 21.7°C y tiene una precipitación anual promedio de 1,095 mm ,(INEGI, 2017). Para este trabajo, los datos se obtienen a partir de las mediciones de una estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2 para medir la irradiancia global y el índice UV, la estación está instalada en el Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología (CENITT), con ubicación en las coordenadas: 21°28'54.8"N 104°50'53.1"W; dichos datos son comparados con las mediciones de una estación que forma parte de la Red Solarimétrica Mexicana instalada en el Campus de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), con ubicación en las coordenadas: 21°29'29.8"N 104°53'41.0"W. En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica de cada uno de los sitios donde están instaladas las estaciones solarimétricas, las cuales se encuentran dentro de la región urbana del municipio de Tepic, Nayarit, con una distancia menor a 5 km entre ambas.

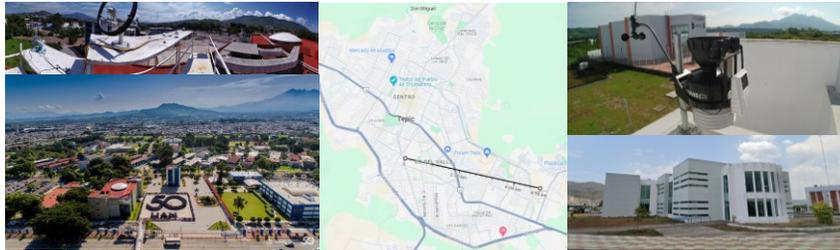


Figura 1. Izquierda: ubicación de la estación de la Red Solarimétrica Mexicana en el Campus de la UAN. Al centro: distancia entre sitios donde se encuentra instaladas las estaciones. Derecha: Ubicación de la estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2 en CENITT.

Estación de la Red Solarimétrica Mexicana. El Servicio Solarimétrico Mexicano del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, conformado a partir del Observatorio de Radiación Solar y de una red especializada de estaciones solarimétricas distribuidas en todo el país (Red Solarimétrica Mexicana), las cuales miden los parámetros de la radiación solar, incluyendo la radiación solar global en superficies planas e inclinadas, así como radiación difusa, directa, ultravioleta, infrarroja, además de variables auxiliares como temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica y precipitación pluvial (UNAM, 2019).

Estación meteorológica a DAVIS Vantage Pro 2. Se trata de una estación meteorológica de calidad industrial diseñada para soportar entornos hostiles y proporcionar datos con precisión científica, su conjunto de sensores permite medir velocidad y dirección de viento, captación de lluvia, temperatura y humedad, radiación solar y ultravioleta, ofrece mediciones con una frecuencia de actualización de menos de 1 minuto, y transmisión inalámbrica de datos con una distancia de conexión de hasta 300 metros. Para datos solarimétricos, mide la porción del espectro UV que produce quemaduras solares, muestra el índice UV y la tasa de dosis (MED); su sensor de radiación solar detecta longitudes de onda de 300 a 1100 nm, muestra la energía incidente y acumulada [6].

Variables de estudio y unidades de medida. La información primaria se adquirió de las estaciones mencionadas anteriormente. Se utilizan datos medidos correspondientes a días con cielo despejado de un año calendario, comprendido del periodo de marzo de 2023 a febrero de 2024, mediante un proceso de verificación visual de series históricas y selección de datos válidos para las componentes de radiación global y UV. En la estación de la Red Solarimétrica Mexicana, para la medición de radiación global se utiliza el piranómetro CMP 11 de Kipp & Zonen, un instrumento de patrón secundario en la clasificación ISO 9060:1990, cuenta con un rango espectral de 285 a 2800 nm [7], la última calibración se realizó en 2018. Para medir la radiación UV, se utiliza el biómetro-radiómetro 501A, que cuenta con una respuesta espectral de 250 a 380 nm [8]. Ambos instrumentos están conectados a un sistema de adquisición de datos CR3000 de Campbell Scientific Inc, con una frecuencia de medición de 3 segundos y el almacenamiento del promedio de mediciones cada minuto [9]. En la figura 2 se ilustra el piranómetro CMP 11, el biómetro 501A y el sistema de adquisición de datos CR3000; montados en la plataforma de la estación solarimétrica.



Figura 2. a) piranómetro CMP 11; b) biómetro 501A; c) sistema de adquisición de datos CR3000. Instrumentos instalados en la estación de la Red Solarimétrica Mexicana en la Universidad Autónoma de Nayarit.



global y el 6490 para estimar el índice UV. El sensor 6450 mide la radiación solar global, con una respuesta espectral del 400 a 1100 nm, con un rango de 0 a 1800 W/m² y una precisión de ±5% [10]. El sensor 6490 mide la radiación UV con una respuesta espectral del 280 a 360 nm, con un rango de índice UV de 0 a 16 y una precisión de ±5% [11]. En la figura 3 se muestran los sensores de radiación global y UV montados en la estación DAVIS Vantage Pro 2 en el CENITT en la ciudad de Tepic, Nayarit.



Figura 3. sensores de radiación global y UV montados en la estación DAVIS Vantage Pro 2 en el CENITT en la ciudad de Tepic, Nayarit.

Irradiancia Solar. Se representa mediante la irradiancia global medida en el plano horizontal, que es la potencia recibida de Sol por unidad de área, representada con la letra **G** y con unidades en W/m²; y la energía recibida durante un periodo definido de tiempo por cada unidad de área, se conoce como la irradiación y se representa con la letra **I** y con unidades en MJ/m² o en su equivalencia en kWh/m², expresado mediante la ecuación 1 [12].

$$I = \int G dt \quad (1)$$

Índice Ultra Violeta (índice UV). En este trabajo se presenta la radiación ultravioleta mediante el índice UV, con el objetivo de facilitar su comunicación y adopción, en la ecuación 2 se muestra la equivalencia entre unidades de medida utilizadas, la cual se clasifica por colores según su intensidad en: bajo (0-3) ●, moderado (3-6) ●, alto (6-8) ●, muy alto (8-11) ●, y extremo (11-19) ● [13].

$$1 \text{ IUUV} = 25 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2} = 0.43 \frac{\text{MED}}{\text{hora}} \quad (2)$$

Procesamiento de datos solarimétricos

El objetivo de este trabajo es construir la correlación entre las mediciones de ambas estaciones, mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, que es una medida ampliamente utilizada en diversas áreas del conocimiento, que, a través de la estadística, se evalúa la correlación lineal entre dos variables, las mediciones de una estación de la Red Solarimétrica Mexicana en comparación con una estación DAVIS Vantage Pro 2. El cálculo coeficiente de correlación muestral de Pearson se representa mediante la ecuación 3, donde X,Y representan el valor individual dentro de una matriz de datos, \bar{X}, \bar{Y} representan la media aritmética del conjunto de valores dentro de la matriz de datos, mientras que S_{XY}, S_{XX}, S_{YY} corresponde a la suma de cuadrados corregidas para X,Y [14].

$$r_{XY} = \frac{\Sigma(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{[\Sigma((X - \bar{X})^2 \Sigma((Y - \bar{Y})^2)]^{1/2}} = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX}S_{YY}}} \quad (3)$$

Se utilizan datos medidos correspondientes a días con cielo despejado de un año calendario, comprendido del periodo de marzo de 2023 a febrero de 2024, mediante un proceso de inspección visual, se seleccionaron 94 días completos que contaban con las condiciones propuestas para ambas estaciones: cielo despejado, continuidad en los datos; con el objetivo de tener una muestra representativa uniforme. Las series históricas de datos tiene una frecuencia de muestreo de 15 minutos, que es el parámetro que utiliza la estación DAVIS Vantage Pro 2, por lo tanto, para igualar la longitud de las matrices de datos, se calculó la media aritmética cada 15 minutos para las mediciones de la estación de la Red Solarimétrica Mexicana. Del total de la muestra se obtuvieron 8924 valores medidos por variable, de los 9024 que representan el 100% de datos sin pérdidas, por lo que se estima que la calidad de los datos de 98.9%, lo que significa una pérdida de datos de 1.1%. Para procesar la información se utilizó el sistema de gestión de bases de datos basado en MySQL de XAMPP[15], y la función PEARSON del paquete ofimático Microsoft Excel, que se basa en la ecuación 3 [16], en conjunto con la librería de Python scipy.stats utilizando la función pearsonr [17] y para la representación gráfica se utilizaron las librerías de Matplotlib de Python [18].

RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados del análisis estadístico y de correlación de Pearson que se aplicaron a las mediciones de radiación global y UV de las estaciones DAVIS Vantage Pro 2 en CENITT, que se denominará “estación CENITT” y la estación RESOLMEX en la UAN, que se denominará “estación RESOLMEX”; ambas en la Ciudad de Tepic, Nayarit, México. Los resultados se presentan en tres momentos: a) se ilustra y describe la serie histórica de datos medios, se describe su comportamiento estadístico, el cual solo ilustra la contrastación de los datos medidos de cada estación, para este trabajo son los 94 días seleccionados, los cuales no representan el comportamiento promedio durante todo el año, por último, se presentan los resultados de la correlación de Pearson.

Estadística descriptiva de datos de irradiancia global



En la figura 4 se muestra las series históricas de los datos de irradiación global medida en el plano horizontal, los datos corresponden a los 94 días que cumplen con el criterio de selección de días despejados e íntegros, correspondiente al periodo de marzo de 2023 a febrero de 2024. Se observa con línea color negro, los datos correspondientes a la estación CENITT, y la línea color rojo corresponde a datos de la estación RESOLMEX, mediante inspección visual se percibe similitud en el eje de tiempo y con una diferencia en la amplitud representado por eje de irradiación, condición que se visualiza con mayor detalle en la figura 5, que corresponde a los datos medidos el 20 de marzo de 2023.

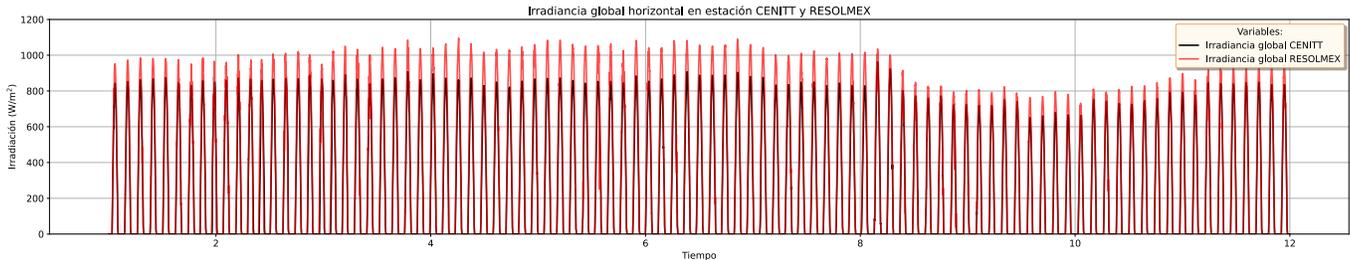


Figura 4. Series históricas de datos medidos de irradiación global de la estación CENITT y la estación RESOLMEX en Tepic, Nayarit, México.

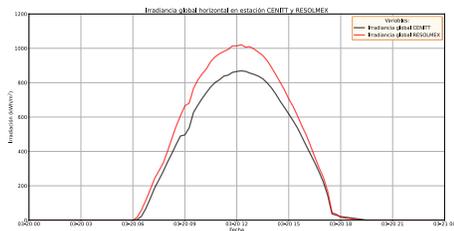


Figura 5. Comparación de valores de irradiación global para el 20 de marzo de 2023 en Tepic, Nayarit

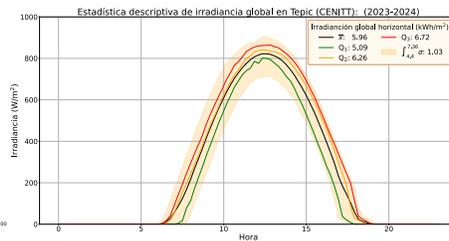


Figura 6. Descripción estadística de irradiación e irradiación global en estación CENITT

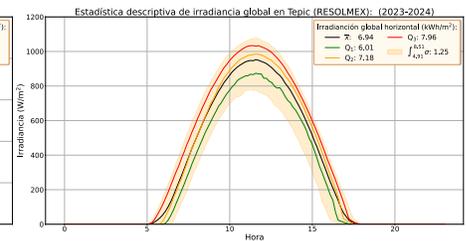


Figura 7. Descripción estadística de irradiación e irradiación global en estación RESOLMEX

La descripción estadística de los datos medidos de irradiación e irradiación global en la estación CENITT y RESOLMEX, permite conocer los valores estadísticos de los datos analizados, como lo son: la media, el primer cuartil (Q1), el segundo cuartil o mediana (Q2), el tercer cuartil (Q3), el percentil 95 (P95) y 5 (P5). Lo anterior permite estimar la disponibilidad y comportamiento de la energía solar medida, solo para los días seleccionados. La figura 6 muestra los resultados de la descripción estadística de los datos medidos en la estación CENITT expresados con el valor de la irradiación con unidades de kWh/m², la curva de la media (\bar{X}) es de 5.96, Q1 = 5.09, Q2 = 6.26, Q3 = 6.72, P5 = 4.4 y P95 = 7.36. En contraste, la figura 7 muestra los resultados de la descripción estadística de los datos medidos en la estación RESOLMEX expresados con el valor de la irradiación con unidades de kWh/m², la curva de la media (\bar{X}) es de 6.94, Q1 = 6.01, Q2 = 7.18, Q3 = 7.96, P5 = 4.91 y P95 = 8.51. La comparación de la descripción estadística permite construir conocimiento sobre la diferencia que existe en la magnitud registrada en el proceso de medición de la irradiación solar por ambas estaciones, en promedio se calcula un porcentaje de error de -14.12%, es decir, que la magnitud de irradiación global medida por la estación CENITT es en promedio 14.12% menor a la magnitud medida por la estación RESOLMEX.

Correlación de Pearson de irradiación global

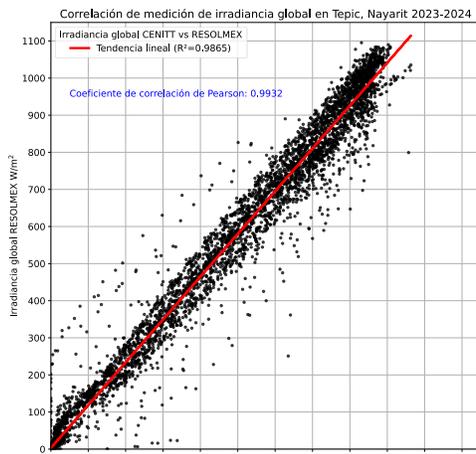


Figura 8. Gráfico de correlación de Pearson de la irradiación global medida en las estaciones CENITT y RESOLMEX.

La figura 8 muestra el resultado del cálculo de la correlación de Pearson, mediante un gráfico de dispersión se ilustra la relación línea entre los datos medidos de irradiación global de la estación RESOLMEX y la estación CENITT, haciendo uso de la herramienta “pearson” de la librería scipy.stats de Python y la función PEARSON de Microsoft Excel, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.9932, que indica una correlación positiva muy fuerte, muy cercano a 1, lo anterior significa que cuando existe un cambio (incremento o decremento) en la medición de la irradiación solar en ambas estaciones, este cambio se refleja de manera consistente en la estación CENITT y RESOLMEX. Por lo tanto, esta correlación sugiere que las mediciones de irradiación solar global en la Ciudad de Tepic, en diferentes sitios y con diferentes instrumentos utilizados en la estación CENITT y RESOLMEX, es muy consistente entre sí; pero lo anterior no implica que sea preciso, ya que existe un error en el cálculo de la irradiación global de 14.12%, lo cual se visualiza de manera gráfica en la dispersión que se muestra en la figura 8, donde los puntos de medición se alejan de la línea de tendencia lineal.



En la figura 9 se muestra las series históricas de los datos del índice UV medido en Tepic, Nayarit, México. Los datos corresponden a los 94 días que cumplen con el criterio de selección de días despejados e íntegros, correspondiente al periodo de marzo de 2023 a febrero de 2024. Se observa con línea color negro, los datos correspondientes a la estación CENITT, y la línea color violeta corresponde a datos de la estación RESOLMEX, mediante inspección visual se percibe similitud en el eje de tiempo y con una diferencia en la amplitud representado por eje del índice UV, condición que se visualiza con mayor detalle en la figura 10, que corresponde a los datos medidos el 20 de marzo de 2023.

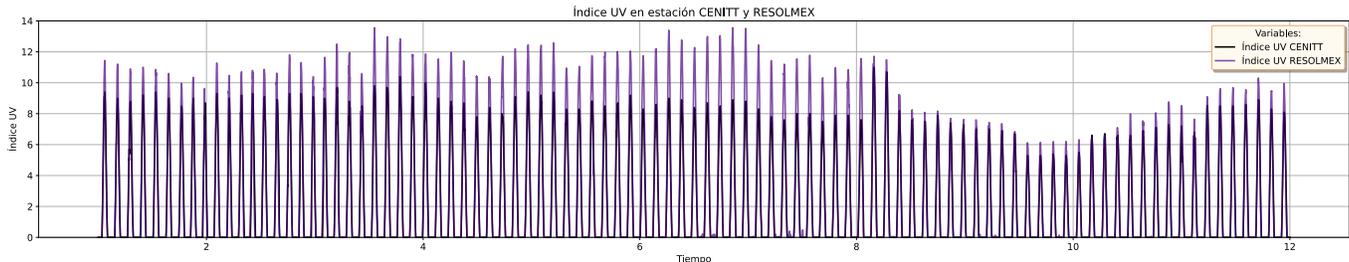


Figura 9. Series históricas de datos medidos de índice UV de la estación CENITT y la estación RESOLMEX en Tepic, Nayarit, México.

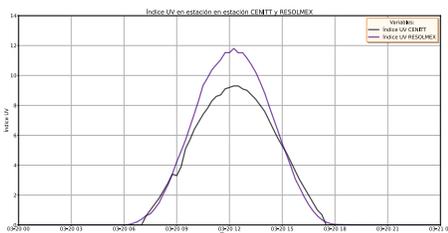


Figura 10. Comparación de valores del índice UV para el 20 de marzo de 2023 en Tepic, Nayarit.

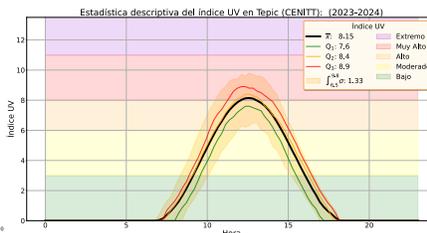


Figura 11. Descripción estadística del índice UV en estación CENITT.

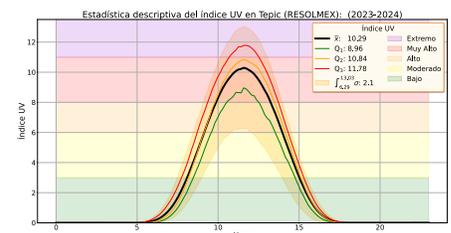


Figura 12. Descripción estadística del índice UV en estación RESOLMEX.

La figura 11 muestra los resultados de la descripción estadística de los valores máximos medidos del índice UV en la estación CENITT, la curva de la media (\bar{X}) es de 8.15, $Q1 = 7.6$, $Q2 = 8.4$, $Q3 = 8.9$, $P5 = 6.5$ y $P95 = 9.8$; la figura 12 muestra los resultados de la estación RESOLMEX, la curva de la media (\bar{X}) es de 10.29, $Q1 = 8.96$, $Q2 = 10.84$, $Q3 = 11.78$, $P5 = 6.29$ y $P95 = 13.03$. La comparación de la descripción estadística permite construir conocimiento sobre la diferencia que existe en la magnitud registrada en el proceso de medición de la del índice UV en ambas estaciones, en promedio se calcula un porcentaje de error de -20.08%, es decir, que la magnitud máxima del índice UV medida por la estación CENITT es en promedio 20.08% menor a la magnitud medida por la estación RESOLMEX.

Correlación de Pearson de índice UV

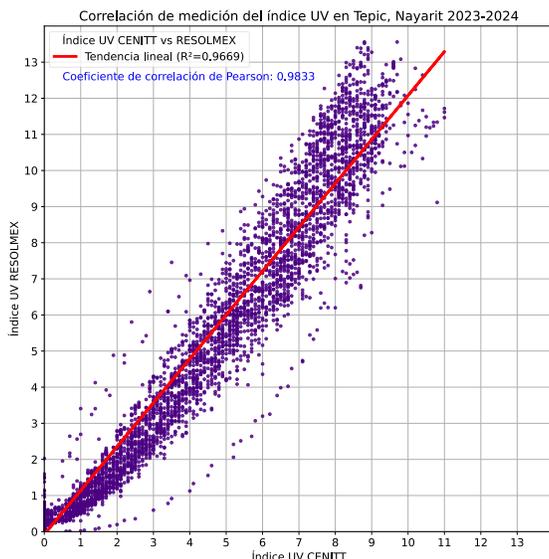


Figura 13. Gráfico de correlación de Pearson del índice UV en las estaciones CENITT y RESOLMEX.

La figura 13 muestra el resultado del cálculo de la correlación de Pearson, mediante un gráfico de dispersión se ilustra la relación línea entre los datos medidos del índice UV de la estación RESOLMEX y la estación CENITT, haciendo uso de la herramienta "pearsonr" de la librería scipy.stats de Python y la función PEARSON de Microsoft Excel, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.9833, que indica una correlación positiva muy fuerte, muy cercano a 1, lo anterior significa que cuando existe un cambio (incremento o decremento) en la medición del índice UV en ambas estaciones, este cambio se refleja de manera consistente en la estación CENITT y RESOLMEX. Por lo tanto, esta correlación sugiere que las mediciones de índice UV en la Ciudad de Tepic, en diferentes sitios y con diferentes instrumentos utilizados en la estación CENITT y RESOLMEX, es muy consistente entre sí; existe un error en el registro de la magnitud máxima del índice UV de 20.08%, lo cual se visualiza de manera gráfica en la dispersión que se muestra en la figura 13, donde los puntos de medición se alejan de la línea de tendencia lineal, e incluso llegan a formar una ligera curva, lo que sugiere que el modelo lineal no se ajusta en su totalidad a los datos, por lo que resalta más la diferencia entre magnitudes registradas por ambas estaciones.



CONCLUSIONES

Se realizó un estudio comparativo de datos de disponibilidad de recurso solar e índice UV para la ciudad de Tepic, Nayarit, mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, a partir de las mediciones de una estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2, instalada en el Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología; comparados con las mediciones de una estación que forma parte de la Red Solarimétrica Mexicana instalada en el Campus de la Universidad Autónoma de Nayarit. A continuación se presentan las principales conclusiones.

- Las mediciones de irradiancia solar e índice UV de las estaciones CENITT y RESOLMEX en Tepic, Nayarit, muestran una alta similitud en el tiempo, aunque con diferencias en la magnitud de irradiancia e índice UV.
- La estadística descriptiva de los datos de irradiancia e índice UV revela diferencias en los valores medios y percentiles entre las dos estaciones, con la estación RESOLMEX registrando valores más altos en promedio, sobre todo en el índice UV.
- Existe un error promedio del 14.12% en las mediciones de irradiancia global entre las dos estaciones, y un error promedio de 20.08% para el índice UV, con la estación CENITT registrando valores menores.
- El coeficiente de correlación de Pearson de 0.9932 para irradiancia global y 0.9833 para el índice UV; indica una correlación positiva muy fuerte entre las mediciones de ambas estaciones, sugiriendo consistencia en las mediciones.
- Aunque las mediciones son consistentes entre las estaciones, la diferencia en magnitud sugiere que no son completamente precisas, lo cual es visualizado en la dispersión de los datos.
- Al ser el primer estudio comparativo, se recomienda continuar los trabajos de generación de conocimiento, haciendo uso de otros métodos estadísticos y variar las condiciones de selección de datos, con el fin de enriquecer y agregar certeza a los resultados expuestos en el presente trabajo.
- Es deseable realizar servicios de calibración para ambas estaciones, y utilizar la información obtenida en este trabajo y futuros análisis, para calcular una constante de calibración que permita que las mediciones sean más precisas y cercanas a un instrumento de patrón superior.

AGRADECIMIENTOS

Por todo el apoyo brindado y el permiso de hacer uso de su infraestructura: Al CONAHCYT a través del proyecto 319456 de la convocatoria 2021-2024 (FOP04-2021-03) "Proyectos nacionales de investigación e incidencia para transitar a un sistema energético social y ambientalmente sustentable", al Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología, a la Universidad Autónoma de Nayarit y al Instituto de Geofísica de la UNAM.

REFERENCIAS

- [1] F. González, "Evaluación del recurso solar en Tepic, Nayarit; mediante el análisis de las mediciones de la Red Solarimétrica Mexicana: prospectiva hacia el desarrollo sustentable," Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, 2022.
- [2] 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," *Renew Energy*, vol. 75, pp. 21–29, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.renene.2014.09.013.
- [3] Secretaría de Energía, "Prospectiva de Energías Renovables 2017," 2017.
- [4] INEGI, "Anuario estadístico y geográfico de Nayarit 2017," Gobierno del estado de Nayarit. [Online]. Available: http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITXef_Docs/NAY_ANUARIO_PDF.pdf
- [5] G. UNAM, "Red Solarimétrica Mexicana, parámetros de medición," 2019. [Online]. Available: <http://areas.geofisica.unam.mx/solarimetrico/parametros.html>
- [6] Davis Instruments, "Vantage Pro2," <https://www.davisinstruments.com/pages/vantage-pro2>.
- [7] KIPP&ZONEN, "CMP11 Piranómetro," 2019. [Online]. Available: <https://www.kippzonen.es/Product/210/CMP11-Piranometro#.XUz6K3ueVPZ>
- [8] Solar Light Company Inc, "Biómetro-radiómetro 501A," Manual de usuario. Accessed: Jun. 05, 2020. [Online]. Available: <https://solarlight.com/wp-content/uploads/501-UserManual-Spanish.pdf>
- [9] Campbell Scientific Inc., "CR3000 Micrologger," Dataloggers y Sistema de Adquisición de Datos. [Online]. Available: <https://www.campbellsci.es/cr3000>
- [10] DAVIS Instruments, "Vantage Pro2 TM Accessories Solar Radiation Sensor," 2024. Accessed: Aug. 18, 2024. [Online]. Available: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0515/5992/3873/files/6450_SS.pdf
- [11] DAVIS Instruments, "Vantage Pro2 TM Accessories UV Radiation Sensor," 2024. Accessed: Aug. 18, 2024. [Online]. Available: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0515/5992/3873/files/6490_SS.pdf
- [12] M. Ibañez Plana, J. R. Rosell Polo, and J. I. Rossel Urrutia, *Tecnología solar*. Mundi-Prensa, Madrid, España, p. 26-32, 2005.
- [13] L. V. Delgado, "INDICE ULTRAVIOLETA," 2003.
- [14] H. Lalinde *et al.*, "Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones," 2018, Accessed: Aug. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/559/55963207025/55963207025.pdf>
- [15] Apache Friends, "XAMPP Installers and Downloads for Apache Friends," <https://www.apachefriends.org/es/index.html>.
- [16] Microsoft, "Función PEARSON," <https://support.microsoft.com/es-es/office/funci%C3%B3n-pearson-0c3e30fc-e5af-49c4-808a-3ef66e034c18>.
- [17] The SciPy community, "pearsonr — SciPy v1.14.1 Manual," <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.pearsonr.html>.
- [18] The Matplotlib development team, "Matplotlib: Visualization with Python," <https://matplotlib.org/>.