

Research Article

Comportamiento Espacio-Temporal de Variables Climáticas como Condicionantes para la Generación de Energía Fotovoltaica en la Provincia de Manabí, Ecuador

Spatio-Temporal Behavior of Climatic Variables as Conditioning Factors for Photovoltaic Energy Generation in the Province of Manabí, Ecuador



Guerrero-Calero, Juan Manuel ¹



<https://orcid.org/0000-0002-1356-04751>



juan.guerrero@unesum.edu.ec



Venezuela, Guayana, Universidad Nacional Experimental de Guayana



Indacochea-Ganchozo, Blanca Soledad ³



<https://orcid.org/0000-0003-4741-2435>



blanca.indacochea@unesum.edu.ec



Venezuela, Guayana, Universidad Nacional Experimental de Guayana



Maytín-Fumero, Carlos ²



<https://orcid.org/0009-0003-1605-1080>



maytinprofcarlos@gmail.com



Venezuela, Guayana, Universidad Nacional Experimental de Guayana

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n3/211>

Resumen: Se caracterizó el comportamiento espacio-temporal de las principales variables climáticas que condicionan la generación de energía de sistemas fotovoltaicos (radiación solar, temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación, humedad), en la provincia ecuatoriana de Manabí. Para esto se utilizó el software (SIG) ArcMap 10.8, a fin de generar mapas de cada variable, facilitando el estudio de su distribución espacial en el tiempo. Se utilizaron series de datos para el lapso 2005 y 2025, así como información topográfica (uso de modelos digitales de elevación). Los resultados indican niveles de radiación solar típica de localización latitudinal ecuatorial, que favorecen la generación de energía fotovoltaica, con mayores entradas de radiación en la zona sur de la provincia, intermedios en su porción central y menores al norte, con condicionamientos impuestos por la variación espacio-temporal de la nubosidad (precipitaciones) y la humedad del aire. Además, la presencia de pendientes de terreno suaves y velocidades moderadas del viento, contribuyen a crear condiciones favorables para la instalación y operación de los sistemas en ciertas zonas (especialmente en el sur). Se detectó la influencia de condiciones variables del clima asociados a la ocurrencia de eventos Niño o Niña. En este último caso mejoran las condiciones para la generación de energía fotovoltaica, al reducir las temperaturas (efecto de la corriente de Humboldt) y la nubosidad (mayores entradas de radiación solar), con mayores velocidades del viento que ejercerían un efecto refrescante en los paneles solares.

Palabras clave: Variables climáticas, Sistemas fotovoltaicos, Provincia de Manabí.

Recibido: 20/May/2026

Aceptado: 15/Jun/2026

Publicado: 30/Sep/2026

Cita: Guerrero-Calero, J. M., Maytín-Fumero, C., & Indacochea-Ganchozo, B. S. (2026). Comportamiento Espacio-Temporal de Variables Climáticas como Condicionantes para la Generación de Energía Fotovoltaica en la Provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 5(3), 36-51. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n3/211>

Ecuador, Santo Domingo, La Concordia
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas – Sede Santo Domingo
Revista Científica Zambos (RCZ)
<https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec>

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

The spatiotemporal behavior of the main climatic variables that influence photovoltaic energy generation (solar radiation, temperature, wind speed, cloud cover, precipitation, and humidity) was characterized in the Ecuadorian province of Manabí. The Geographic Information System (GIS) ArcMap 10.8 was used to generate maps of each variable, facilitating the study of their spatial distribution over time. Data series for the periods 2005 and 2025 were used, along with topographic information (using digital elevation models). The results indicate solar radiation levels typical of equatorial latitudes, which favor photovoltaic energy generation, with higher radiation levels in the southern part of the province, intermediate levels in the central portion, and lower levels in the north, subject to the spatiotemporal variations of cloud cover (precipitation) and air humidity. Furthermore, the presence of gentle slopes and moderate wind speeds contributes to creating favorable conditions for the installation and operation of the systems in certain areas (especially in the south). The influence of variable weather conditions associated with El Niño or La Niña events was detected. In the latter case, conditions for photovoltaic energy generation improve, as temperatures are reduced (Humboldt Current effect) and cloud cover decreases (greater solar radiation), with higher wind speeds that would have a cooling effect on the solar panels.

Keywords: Climatic variables, Photovoltaic systems, Solar energy, Manabí Province.

1. Introducción

La creciente demanda energética y la necesidad de reducir la dependencia de fuentes fósiles ante problemáticas como la del cambio climático, han impulsado el uso de fuentes de energías renovables a nivel global. Es así como el uso de sistemas de generación fotovoltaicos se ha consolidado como una de las alternativas más viables para la generación de electricidad, especialmente en regiones con alta disponibilidad de radiación solar y limitaciones de la población para acceder a redes eléctricas convencionales (International Energy Agency, 2022). Además, el crecimiento del uso de la energía solar con paneles fotovoltaicos ha sido favorecido por la reducción de costos tecnológicos y por su capacidad para contribuir a la descarbonización de los sistemas energéticos (Kabir et al., 2018).

En el caso de países ubicados en la franja ecuatorial, como Ecuador, al disponerse de una alta incidencia de radiación solar durante todo el año, se cuenta entonces con un potencial significativo para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos (Guerrero-Calero et al., 2025), lo que puede resultar en importantes beneficios económicos y sociales, particularmente en zonas rurales donde el acceso a energía eléctrica es limitado o intermitente (Duffie & Beckman, 2013). Asimismo, el aprovechamiento de energía solar en estas zonas representa una alternativa sostenible para reducir brechas energéticas y promover el desarrollo local (Bhattacharyya, 2012).

No obstante lo anterior, se debe considerar que la radiación solar como fuente primordial de energía para la generación de electricidad, está también condicionada por factores como la nubosidad y la humedad del aire (alta nubosidad y humedad limitan las entradas de radiación solar), mientras que variables como la temperatura del aire y la velocidad del viento, así como la precipitación, pueden influir de forma directa en la eficiencia energética de los sistemas fotovoltaicos (altas temperaturas son limitantes, mientras que el viento y la precipitación ejercen un efecto refrescante en los paneles solares, aumentando la producción de energía). De manera que resulta de interés, como objetivo general, el analizar en contextos locales de países como el Ecuador, el comportamiento específico de estas variables climáticas, a fin de describir su papel como condicionantes para la generación de energía fotovoltaica, habiéndose realizado la correspondiente investigación para el caso específico de la Provincia de Manabí, localizada en la región costera de Ecuador.

2. Metodología

A partir de información sobre cada una de las variables climáticas señaladas, obtenida de fuentes como WorldClim y NASA POWER, se generaron los correspondientes mapas anuales en formato raster, utilizando el software ArcMap 10.8. Todo con el fin de facilitar su análisis espacio-temporal (geográfico). En el caso de la variable precipitación se generaron mapas de totales anuales para el lapso 2014-2023 (10 años), mientras que para las variables nubosidad, humedad específica, vientos, temperatura del aire y radiación solar, se generaron mapas de promedio anuales para los años 2005, 2010, 2015, 2020 y 2025 (lapsos quinquenales). En el caso de la radiación solar se generó también un mapa promedio que integró los mapas quinquenales. Adicionalmente se incorporó un Modelo Digital de Elevación (DEM), con datos proveniente de SRTM/USGS, a partir del cual se derivó la pendiente del terreno, ya que la topografía incide en la creación de condiciones que puede favorecer o limitar las entradas de radiación solar a los paneles solares, en contextos locales. Cada uno de los mapas fue llevado a una misma escala espacial y recortadas al área de estudio (Provincia de Manabí). Las variables climáticas consideradas fueron analizadas secuencialmente, una a una, como factores condicionantes directos o indirectos que son, del funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, aunque se tomó en cuenta siempre y en los casos convenientes, que pueden interactuar entre ellas, dejándose para el final la consideración de la variable principal, la radiación solar.

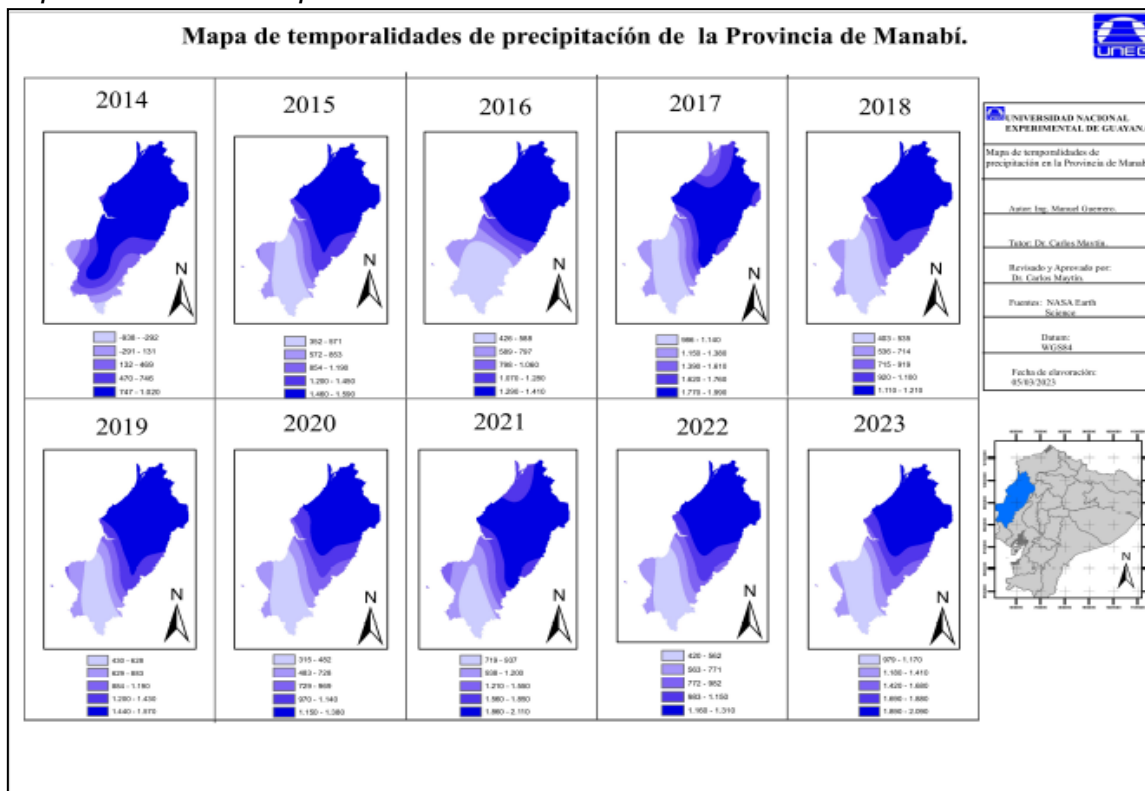
3. Resultados

3.1 Variabilidad espacio-temporal de variables climáticas en la Provincia de Manabí

En la figura 1 se muestran los mapas con la distribución espacial de la precipitación anual correspondientes al periodo 2014–2023.

Figura 1

Temporalidad de Precipitación en la Provincia de Manabí



Nota: (Autores, 2026).

Se observa en la figura 1 que en la mayoría de los años (con la excepción de 2014) la precipitación total anual varía entre unos 800 mm/año al sur de la provincia de Manabí y 1800 mm/año, al norte, aunque la extensión relativa de las áreas de mayores y menores precipitaciones presenta cierta variación espacial, con años en que se proyecta más al sur incrementos de precipitación se proyectan (2017 y 2021) o se observa reducción de la precipitación hacia el norte de la provincia (2020, 2022 y 2023).

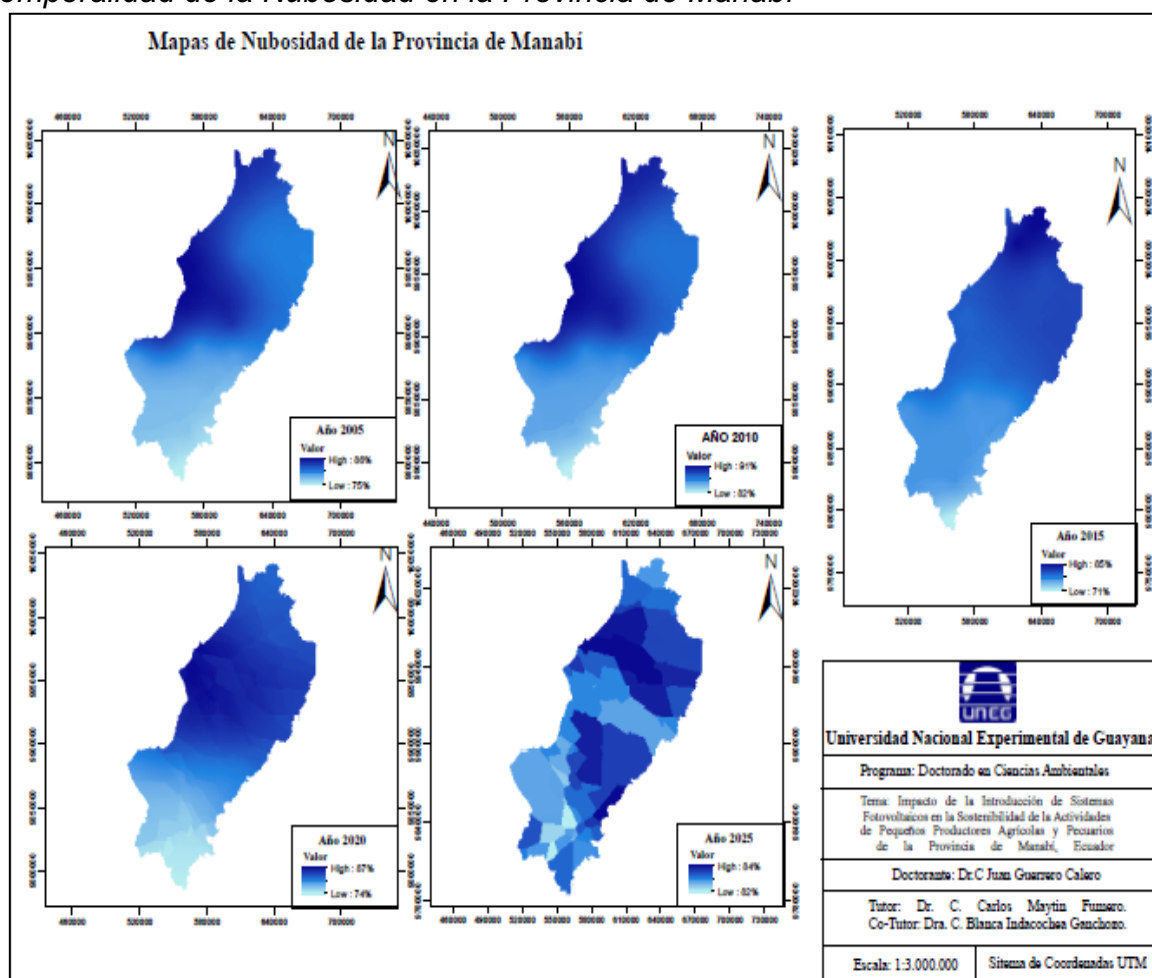
La precipitación afecta la generación de energía fotovoltaica de manera directa a través de lo que se conoce como enfriamiento por lámina de agua, habiendo demostrado investigadores como Dorobanțu y Popescu (2013), que por esta causa se puede incrementar entre un 8 y 15% de ganancia neta de energía diaria, dependiendo de del tipo de panel solar y de la magnitud de la reducción de la temperatura por el efecto del enfriamiento (Idoko et al., 2018). Este efecto según Moharram et al. (2013) es también dependiente de que se mantenga ciertos niveles de radiación solar

incidente que garantice la producción de electricidad (denotando la importancia bajo condiciones de pluviosidad de que se disponga siempre de ciertos niveles de radiación solar incidente).

En general, este efecto benéfico de enfriamiento de los paneles solares durante las precipitaciones, tampoco parece ser más importante que el causado por condiciones de mayor incidencia de radiación solar en días de menor nubosidad (Shaaban et al., 2023). En la figura 2 se muestran mapas nubosidad (porcentaje de cobertura nubosa) por lapsos quinquenales entre los años 2005 y 2025.

Figura 2

Temporalidad de la Nubosidad en la Provincia de Manabí

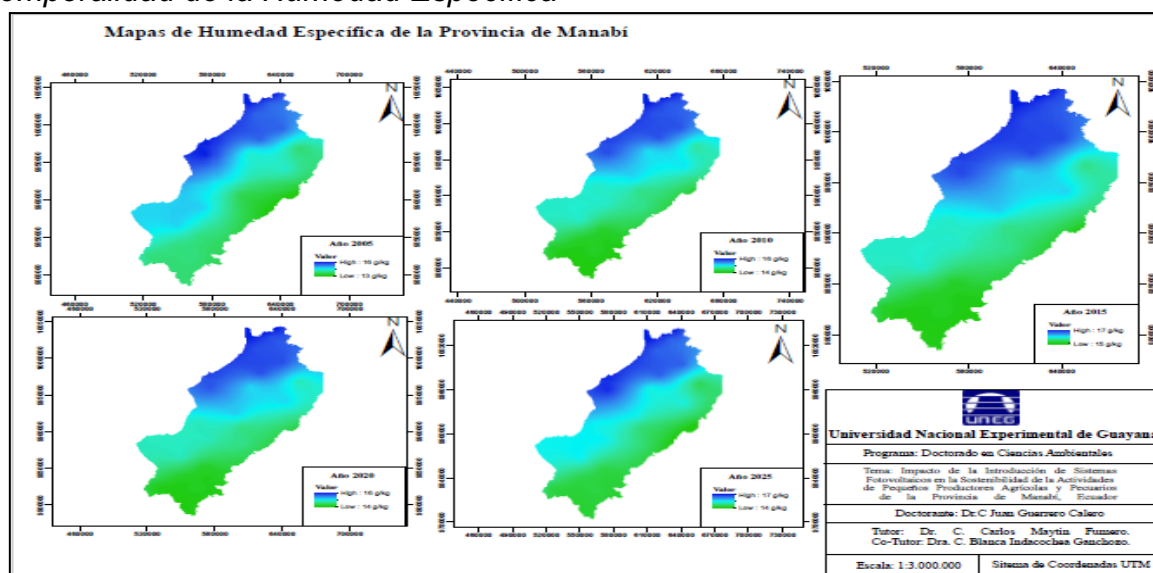


Nota: (Autores, 2026).

La figura 2 muestra que la Provincia de Manabí se caracteriza en general (mayoría de los años) por altos porcentaje de cobertura nubosa, con valores que oscilan entre aproximadamente 75% y 91%, con una franja en la zona central y el extremo norte de la provincia con los mayores porcentajes nubosidad (superiores al 80%). La zona de menor nubosidad se localizan al sur (valores alrededor del 70%). Se establece así cierta una asociación espacial inversa (lo esperado) entre los patrones de nubosidad en la figura 2 y los de precipitación vistos previamente.

En las zonas con mayor nubosidad se limitan las entradas de radiación solar directa, aumentando la proporción de radiación solar difusa, lo que es de interés por los condicionantes que esta situación impone a la generación de energía fotovoltaica. En este sentido, si bien los paneles solares siguen generando energía eléctrica al estar expuestos solamente a radiación solar difusa, se ha encontrado que bajo ciertas condiciones de nubosidad la reducción puede ser significativa, habiéndose reportado (Sharma & Kumar, 2019; Solar Calculator, 2024; Pani, 2025) que en días nublados intermedios se puede presentar una reducción general del 20% al 60% en la producción energética entre el 40% y el 80% de su capacidad en un día claro, mientras que con nubosidad densa (nubes de tormenta) la generación de energía experimenta una caída drástica del 70% al 90%, operando apenas al 10% - 30% de su capacidad nominal. En la figura 3, por su parte, se presentan los patrones espaciales de la humedad específica.

Figura 3
Temporalidad de la Humedad Específica



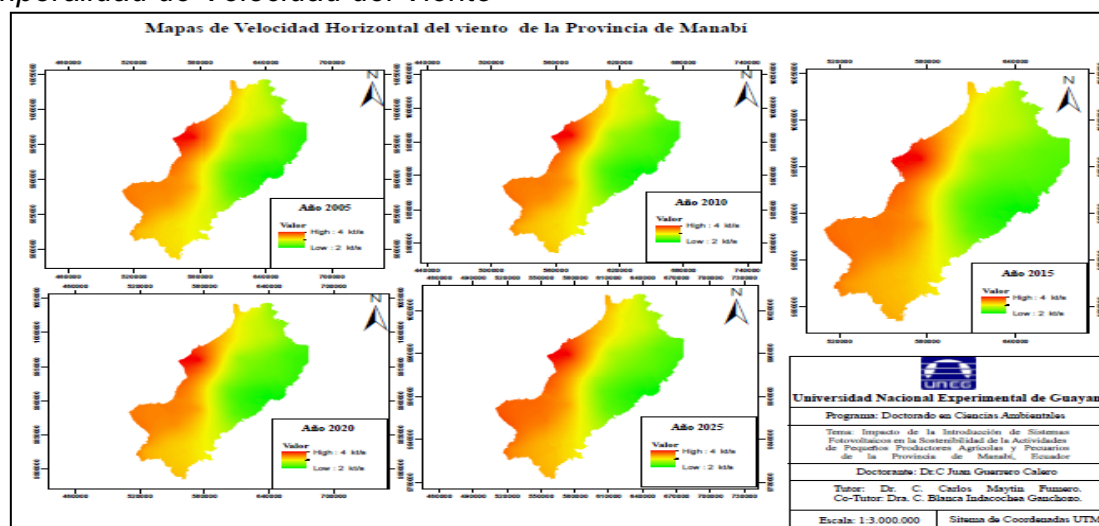
Nota: (Autores, 2026).

Se observan en la figura anterior patrones espaciales de humedad específica bastante similares en todos los años considerados, con valores entre 13 y 17 g/kg. Se presenta igualmente una marcada zonificación norte-sur, con una zona de mayor humedad específica al norte, una zona central de valores intermedios, y una zona sur de menor humedad.

La humedad específica influye indirectamente en la generación de energía fotovoltaica, ya que puede contribuir a una mayor absorción de radiación solar en rangos de longitudes de onda en que las celdas de silicio generan electricidad con mayor eficiencia (700 nm y los 1100 nm), “secuestrando” así fotones del infrarrojo cercano justo en tal zona. Otro impacto de una alta humedad específica es que contribuye a la dispersión (Rayleigh y Mie) de la radiación. Es de destacar que la dispersión Mie se produce cuando el vapor de agua interactúa con aerosoles, siendo estos abundantes en zonas costeras como la de Manabí, propiciando la formación de

microgotas o calima (Tang, 1996), lo que se produce localmente y sobre todo cuando las temperaturas marinas son frías (presencia habitual de la corriente de Humboldt), contribuyendo en general en estas condiciones, a la formación de nubosidad (nubes bajas estratiformes, e inclusive niebla). Esta condición climática local se presenta sobre todo entre los meses de junio a noviembre en la Provincia de Manabí, cuando la corriente de Humboldt en las zonas costeras alcanza su máxima intensidad y empuje hacia el norte, propiciando también el desarrollo de una llovizna constante y extremadamente fina conocida como garúa, y que al final es igualmente de interés a la hora de evaluar el funcionamiento de los paneles solares, ya que representan condiciones que, por un lado, favorecen la generación de energía eléctrica (efecto de enfriamiento de la garúa) pero, por otro, limitante por la reducción de entradas de radiación solar asociado al incremento de la misma cobertura nubosa que produce tal tipo de precipitación. En los mapas la figura 4 se muestra ahora otra variable de interés, tal como lo es la velocidad del viento, igualmente para el lapso 2005–2025 y con mapas quinquenales.

Figura 4
Temporalidad de Velocidad del Viento



Nota: (Autores, 2026).

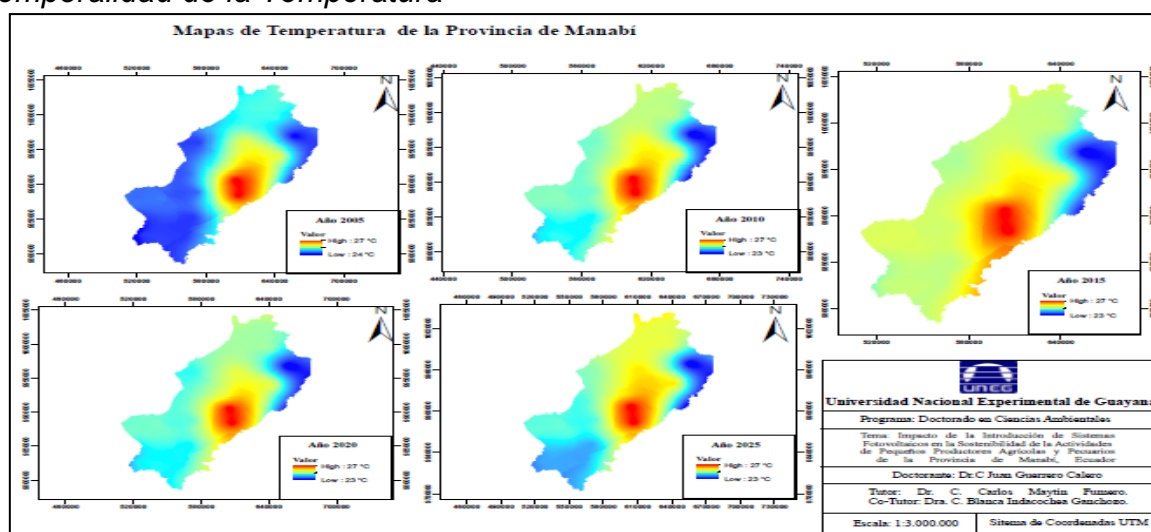
Los mapas de la figura 4 nos muestran que en la Provincia de Manabí los valores de velocidad del viento y sus patrones espaciales son relativamente estables en el lapso de tiempo estudiado, con rangos de velocidad entre 2 y 4 kt/s. Especialmente, las mayores velocidades se concentran hacia el sector occidental y costero de la provincia (efecto de brisas marinas por contraste termo-dinámico, temperatura-presión, entre mar y tierra, tanto diurnos como nocturnos), mientras que las zonas orientales, más alejadas de la costa, presentan los menores valores de velocidad del viento.

La velocidad del viento constituye una variable que afecta directamente el desempeño de los paneles solares. Una mayor circulación de aire puede favorecer el enfriamiento natural de los paneles, reduciendo pérdidas de eficiencia asociadas al aumento de temperatura (Skoplaki y Palyvos, 2009). Por ello, las zonas costeras de la provincia de Manabí, por sus velocidades moderadas de viento pueden representar condiciones

más favorables para la operación de sistemas fotovoltaicos, especialmente cuando coinciden con períodos de alta incidencia de radiación solar por baja nubosidad.

En términos generales, la variable viento actúa como un factor de apoyo en la generación de energía fotovoltaica, ya que contribuye como vimos a mejorar las condiciones de generación de energía eléctrica de los sistemas fotovoltaicos, reportándose inclusive (Fouad et al., 2017) que su importancia (o aporte relativo) sería mayor que variables como la humedad y la precipitación, más no así con la radiación solar. Se pasa ahora a considerar la importancia de la variable temperatura del aire, cuyos respectivos mapas se muestran en la figura 5.

Figura 5
Temporalidad de la Temperatura



Nota: (Autores, 2026).

Las temperaturas medias en la Provincia de Manabí varían entre 23 °C (zonas costeras habitualmente frías por la presencia de la corriente de Humboldt) y 27 °C (interiores de la Provincia de Manabí). Se observa que el núcleo de altas temperaturas es relativamente estable en su localización en cualquiera de los años considerados.

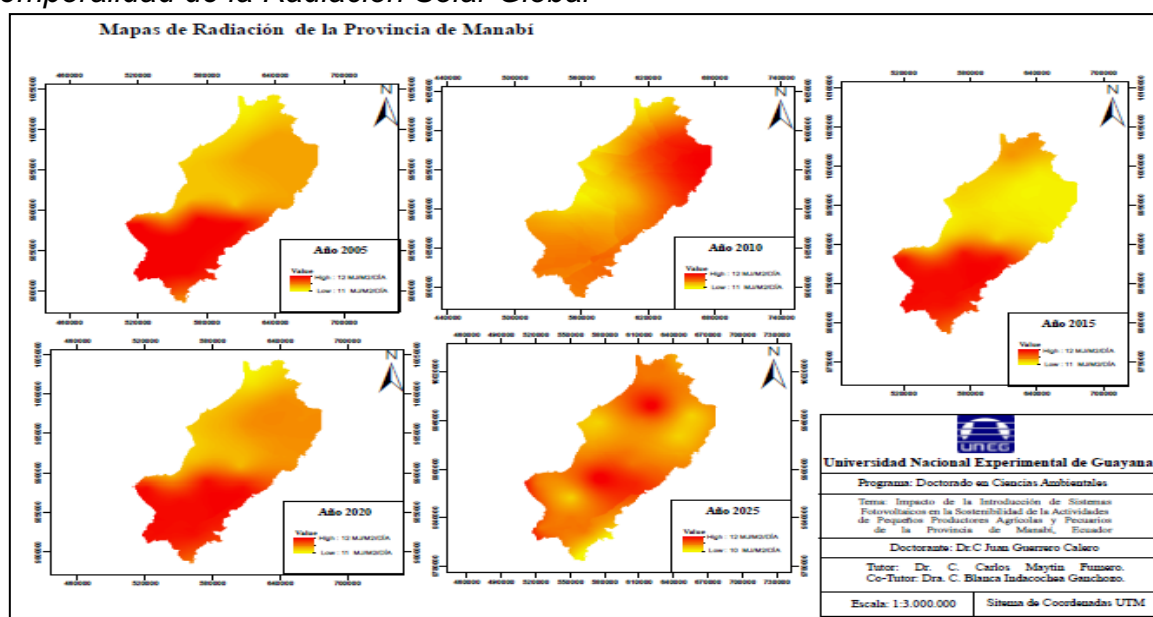
En el año 2005 se presenta una importante extensión de temperaturas bajas (comparado con el resto de los años analizados) en la mayor extensión de la zona costeras (centro y sur de esta zonas) y en extremo el sur de la provincia. Este patrón espacial coincidió con el pasos hacia una condición de fuerte enfriamiento de las aguas en la zona costera en la segunda mitad del año 2005 (cambio hacia un evento Niña), especialmente de julio a septiembre-octubre (Shein, 2006), que se reflejó en la media anual de ese año.

Para el año 2015, por su parte, se visualiza un aumento generalizado de temperaturas en la Provincia de Manabí. Esto lo asociamos a la ocurrencia de un fuerte evento Niño en este año 2015 (con presencia de corrientes muy cálidas en las costas ecuatorianas), tal como lo reportó L'Heureux et al. (2017).

El resto de los años (2010, 2020 y 2025) se presenta un patrón espacial de temperaturas asociado a condiciones no extremas (neutras).

Es de destacar que las condiciones térmicas durante eventos Niño (altas temperaturas en la Provincia de Manabí) serían, sin considerar otros factores, menos favorables para la generación de energía fotovoltaica. No obstante, se debería considerar también el efecto térmico benéfico (enfriamiento) de las precipitaciones (aumento), ya reseñado previamente. En la figura 6, se muestran finalmente los mapas de radiación solar global (directa + difusa), principal variable en la determinación de potencialidades para localización de sistemas fotovoltaicos.

Figura 6
Temporalidad de la Radiación Solar Global



Nota: (Autores, 2026).

En general, los valores de radiación solar global en la Provincia de Manabí varían entre 10 y 12 MJ/m²/día, con la zona sur (la menos nubosa) presentando en general condiciones más favorables para la generación de energía fotovoltaica.

Se observa que los años 2005, 2015 y 2020 presentan una distribución espacial más o menos similar y esperada (mayores niveles de radiación al sur de la provincia, menores al centro y norte, considerando las variaciones espaciales de la nubosidad). Sin embargo, 2005 y 2015 fueron como ya se señaló contrastantes debido a que en el 2005 predominó una condición de evento Niña, mientras que en el 2015 se caracterizó por el desarrollo de un fuerte evento Niño. Por su parte, en el año 2020 la primera mitad del año tuvo condición neutra y en la segunda mitad comenzó el desarrollo de un evento Niña (ERFEN, 2020). De manera que, en principio, no se detectan diferencias espaciales relevantes en los niveles anuales promedios de radiación, por tipo de condición océano-climática reseñada.

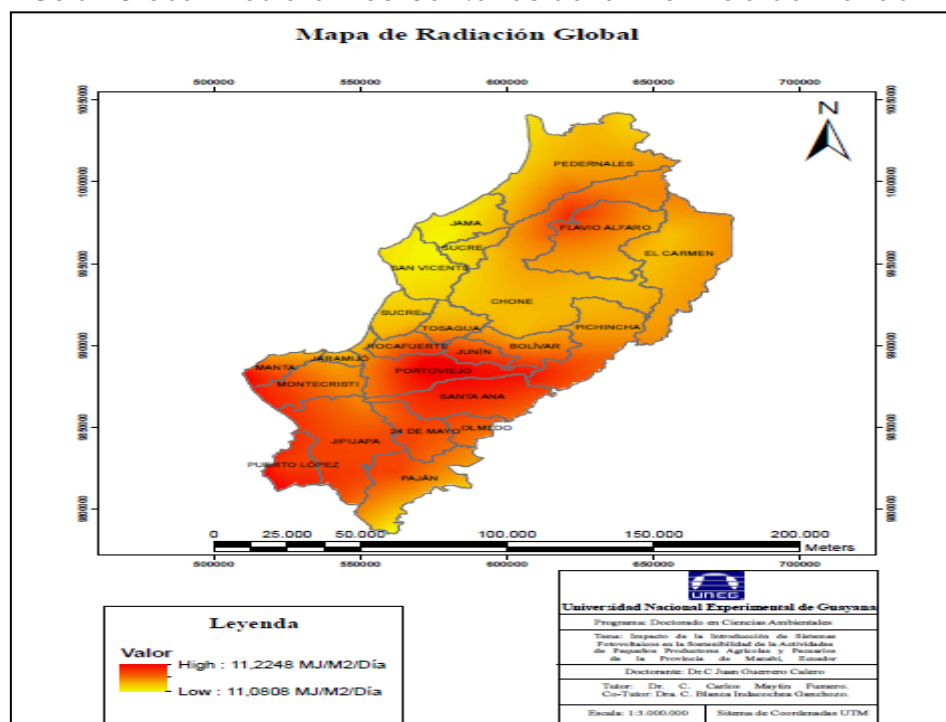
Lo anterior sugiere la necesidad de profundizar el detalle de los estudios de relaciones entre ocurrencia de eventos Niño, Niña o condiciones neutras, y sus influencias en las

entradas de radiación solar en la Provincia de Manabí, postulándose que en cualquiera de las dos situaciones extremas al producirse limitantes por incrementos de nubosidad (por diversos tipos de nubes, estratiformes en eventos Niña y cumuliformes en eventos Niño), el resultado modulador de las entradas de radiación pudiera estarse compensando con efectos geográficos como los que describimos, y que serían de interés para las evaluaciones de potencial de generación de energía fotovoltaica en dicha provincia.

Los patrones espaciales antes descritos son además diferentes a los que observamos en los mapas de los años 2010 y 2025, con el año 2010 presentando un patrón espacial de incidencia de radiación solar en cierta forma invertido (con mayores niveles de radiación al noreste de la Provincia de Manabí, al comparar con los centrales y sur de la provincia. Resulta interesante en este caso del año 2010, el reporte (CIIFEN, 2010) de que las condiciones oceánicas en las costas ecuatorianas, durante el año 2010, cambiaron rápidamente de una situación inicial en que predominaron aguas cálidas, a otra de afloramiento masivo de aguas profundas y frías, lo que puede haber creado condiciones de nubosidad que determinaron tal tipo de patrón espacial de radiación solar incidente, no tan común en la provincia. Por su parte, en el año 2025, cuando se presentaron condiciones costeras neutras (ERFEN, 2025) se observan dos núcleos respectivos de mayores y menores niveles de radiación solar incidente. Como complemento del análisis previo se muestra en la figura 7 el mapa de radiación global promedio para la Provincia de Manabí, con base a la integración de los mapas de años específicos de la figura 6.

Figura 7

Radiación Solar Global Media en los Cantones de la Provincia de Manabí



Nota: (Autores, 2026).

Se observa en la figura 7 que los diferentes cantones de la Provincia costera de Manabí cuentan con altas entradas anuales de radiación solar global promedio, con valores comprendidos entre 11.08 y 11.22 MJ/m²/día, en concordancia con la localización latitudinal ecuatorial de la provincia.

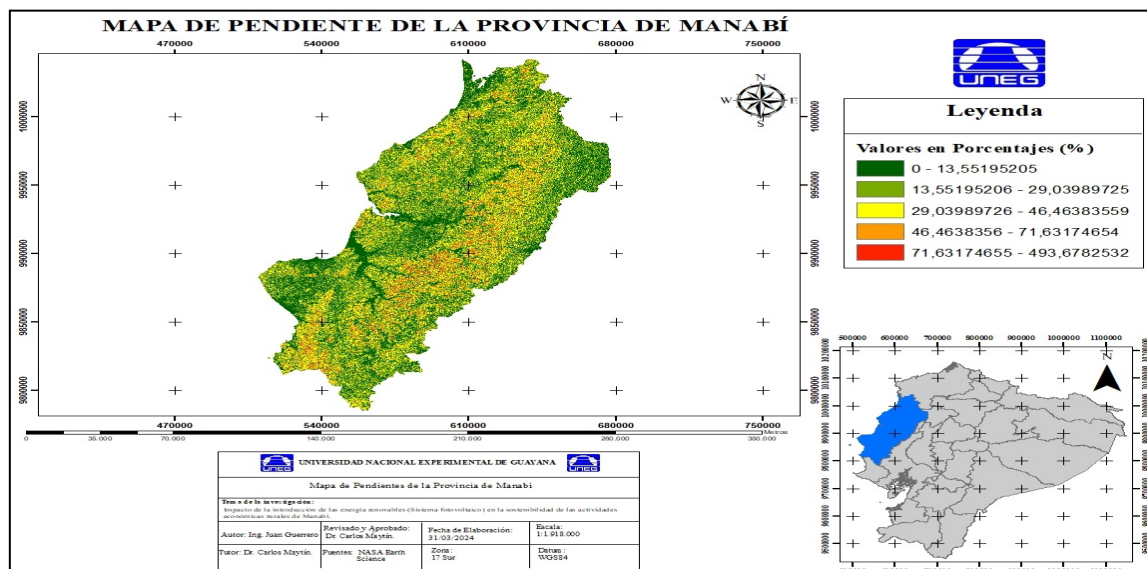
Se observan sin embargo diferencias espaciales que permiten identificar sectores (cantones) con mejores y peores condiciones para el aprovechamiento de la generación de energía de origen fotovoltaico. En este sentido, las mayores intensidades de radiación se localizan principalmente en la zona centro-sur de la provincia (cantones Manta, Montecristi, Portoviejo, Jipijapa, Santa Ana y Puerto López), que así presenta condiciones promedios más favorables para la implantación de sistemas fotovoltaicos. Por otro lado, los sectores norte y noreste de la provincia, en cantones como Pedernales, El Carmen y Flavio Alfaro, se presentan valores ligeramente menores de radiación, aunque continúan dentro de rangos adecuados para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos.

3.2 Análisis de la Influencia de las Condiciones Topográficas

Como complemento al análisis de las variables climáticas, se presenta ahora en la figura 8 las variaciones características de las pendientes del terreno en la Provincia de Manabí, ya que esta característica determina variaciones en las limitantes de entrada de radiación solar (nivel y orientación de las pendientes).

Figura 8

Niveles de Pendientes



Nota: (Autores, 2026).

La figura 8 muestra que la provincia de Manabí presenta terrenos con pendientes menores al 30%, lo que favorece la instalación de sistemas fotovoltaicos y se reduce la generación de condiciones locales de sombra. Las zonas con pendientes suaves (0–13%) se distribuyen ampliamente en el territorio, representando áreas de alta aptitud. Por el contrario, las áreas con pendientes superiores al 30% son más limitadas

y se consideran menos adecuadas debido a restricciones técnicas y costos de instalación más elevados, y la proyección de sombras.

4. Discusión

Los resultados muestran que el potencial en la Provincia de Manabí para la implementación de sistemas fotovoltaicos, no depende únicamente de la radiación solar, sino de la interacción entre varias variables climáticas y del terreno que la condicionan. Este tipo de comportamiento ha sido señalado a nivel más general por Huld . et al. (2012), quienes indican que, en regiones tropicales, factores como la nubosidad y las condiciones atmosféricas pueden influir de forma significativa en la incidencia de radiación y por tanto en el rendimiento real de los sistemas fotovoltaicos.

En cuanto a la radiación solar, los resultados muestran una distribución espacial que no es totalmente uniforme en toda la provincia de Manabí, a pesar de su localización latitudinal cercana al ecuador terrestre, ni tampoco a través de los años. Esto contrasta con lo reportado por Šúri . et al. (2007), si consideramos la afirmación y sin más consideraciones, de que radiación solar incidente en las regiones ecuatoriales tiende a ser estable durante el año. En realidad, si bien la incidencia de radiación solar solo por el factor latitudinal garantiza tal tipo de estabilidad, esto es con relación a las entradas de energía al tope de la atmosfera. Sin embargo, cuando consideramos condiciones de superficie la variabilidad de los factores climáticos sí afectan la disponibilidad de radiación solar espacial y temporalmente, limitando o favoreciendo según los casos, la generación de energía fotovoltaica.

Uno de los factores más relevantes encontrados en este estudio es la nubosidad. En Manabí se identificaron niveles elevados, especialmente en la zona norte, lo que reduce la radiación solar directa, disminuyendo la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos Badescu (2008), Esto ayuda a entender por qué algunas zonas, a pesar de tener buena radiación teórica (por factores latitudinales), no presentan el mayor potencial en la práctica.

De manera similar, la humedad también juega un papel importante. Así, las zonas más húmedas de la provincia (al norte) presentan un menor potencial relativo, reforzando la idea de que el análisis del recurso solar debe ir más allá de la consideración de la radiación en sí misma.

En relación con el relieve, los resultados muestran que gran parte de la provincia tiene pendientes suaves, lo cual favorece la instalación de sistemas fotovoltaicos. Este resultado es similar al encontrado por Charabi y Gastli (2011), quienes destacan que terrenos con baja pendiente no solo facilitan la instalación, sino que también reducen costos y mejoran la eficiencia del sistema (entre otros factores, por la reducción de condiciones de sombras).

Al comparar nuestros resultados con estudios realizados en América Latina, como el de Polo et al. (2015), se observa que las zonas costeras suelen presentar un alto potencial solar, pero condicionado por variables atmosféricas similares a las encontradas en Manabí. Esto confirma que los resultados obtenidos pueden ser aplicables, para fines de guiar futuros análisis a contextos geográficos parecidos. No obstante, la influencia en las costas ecuatorianas de eventos Niño o Niña, le imprimen al clima local un carácter variable que ya se consideró en este trabajo que implicaría posibles variaciones del potencial de generación de energía fotovoltaica (a determinar con exactitud en estudios de campo). Esto es importante en el contexto de problemáticas como la del cambio climático, ya que el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos dependerá en buena parte de las condiciones climáticas que finalmente se concreten a futuro en la región costera ecuatoriana, y que apuntan a una mayor frecuencia de eventos Niño o Niña extremos (Cai et al., 2014; Geng et al., 2022), con la consecuente generación de lapsos de tiempo en que puede presentarse altos o bajos potenciales de generación de energía fotovoltaica en diversas partes de la Provincia de Manabí.

La velocidad del viento, aunque no constituye un factor tan determinante en la generación de energía fotovoltaica, comparado con la radiación solar y la temperatura, cumple un rol complementario en el desempeño del sistema. En el caso de la Provincia de Manabí, se identificaron velocidades moderadas y relativamente estables, con mayores valores en zonas costeras. Estas condiciones pueden favorecer el enfriamiento natural de los paneles solares, contribuyendo a reducir pérdidas de eficiencia asociadas a altas temperaturas. Este comportamiento ha sido documentado por Skoplaki y Palyvos (2009), quienes señalan que la velocidad del viento influye en la temperatura de operación de los módulos fotovoltaicos y, por tanto, en su rendimiento.

5. Conclusiones

El análisis espacial de las variables climáticas en la Provincia de Manabí evidencia patrones diferenciados tanto en su distribución geográfica como en su comportamiento temporal, los cuales son determinantes en la evaluación del potencial fotovoltaico en la provincia.

El estudio realizado muestra que la Provincia de Manabí presenta condiciones favorables para la implementación de sistemas fotovoltaicos, debido a la estabilidad de las entradas de radiación solar y a la presencia de extensas áreas con pendientes suaves que facilitan la instalación de este tipo de sistemas. No obstante, variables como la nubosidad, la humedad y la precipitación, además del viento, influirían directamente en el potencial energético, existiendo una zonificación tanto norte-sur (el norte más nuboso, lluvioso y de menores estradas de radiación solar) como este (más alejado de las costas, relativamente cálido, con menos ocurrencia de nieblas y nubes bajas) oeste (costero).

Las zonas centro-sur y suroeste, particularmente en cantones como Manta, Montecristi, Portoviejo, Jipijapa y Puerto López, presentan mejores condiciones para el aprovechamiento solar, al registrar mayores niveles de radiación y menores limitaciones climáticas.

Los resultados confirman que Manabí posee potencial para el desarrollo de energía solar, y que el análisis espacio temporal realizado constituye una aproximación inicial útil para apoyar procesos de planificación energética que promuevan el desarrollo sostenible de la provincia.

Por último, se debe considerar los posibles efectos del cambio climático en los estudios de potencial de generación de electricidad con paneles fotovoltaicos, y en el caso de la Provincia de Manabí, profundizar en los estudios de los efectos de condiciones extremas asociadas a eventos Niño o Niña de alta intensidad, como los que se pueden presentar a futuro asociados al proceso de calentamiento global por incremento de la concentración de gases de efecto invernadero de origen antropogénico, en la atmósfera terrestre.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

“Los autores declaran que no utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa en la elaboración de este manuscrito.”

Referencias Bibliográficas

- Badescu, V. (Ed.). (2008). *Modeling solar radiation at the Earth's surface: Recent advances*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77455-6>
- Bhattacharyya, S. C. (2012). Energy access programmes and sustainable development: A critical review and analysis. *Energy for Sustainable Development*, 16(3), 260–271. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.05.002>
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., McPhaden, M. J., Wu, L., England, M. H., Wang, G., Guilyardi, E., & Jin, F.-F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111–116. <https://doi.org/10.1038/nclimate2100>
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. (2010). *Informe técnico regional del ENOS: Transición y consolidación del evento de La Niña en el Pacífico Sudeste* [Boletín de cierre]. No se localizó una URL oficial verificable.

- Charabi, Y., & Gastli, A. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554–2561. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.037>
- Comité ERFEN-Ecuador. (2020, 5 de octubre). *Boletín ERFEN Nro. 013-2020*. Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador. <https://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2018/01/Erfen-30-septiembre.pdf>
- Comité Nacional para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño. (2025, 7 de agosto). *Boletín informativo ERFEN*. Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada. <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/boletines/erfen/boletines-de-prensa/2359-boletin-informativo-erfen-7-de-agosto-de-2025>
- Dorobanțu, L., & Popescu, M. O. (2013). Increasing the efficiency of photovoltaic panels through cooling water film. *UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering*, 75(4), 223–232.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- Fouad, M. M., Shihata, L. A., & Morgan, E. I. (2017). An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1499–1511. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.141>
- Geng, T., Cai, W., Wu, L., Santoso, A., Wang, G., Jing, Z., Gan, B., Yang, Y., Li, S., Wang, S., Chen, Z., & McPhaden, M. J. (2022). Emergence of changing Central-Pacific and Eastern-Pacific El Niño-Southern Oscillation in a warming climate. *Nature Communications*, 13, Article 6616. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33930-5>
- Guerrero-Calero, J. M., Romero-Castro, M. I., Mielles-Giler, J. W., & Moran-González, M. R. (2025). Análisis del recurso solar en San Francisco de Paján (Ecuador): bases para la implementación de sistemas fotovoltaicos sostenibles. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 177–188. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/102>
- Huld, T., Müller, R., & Gambardella, A. (2012). A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, 86(6), 1803–1815. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.03.006>
- Idoko, L., Anaya-Lara, O., & McDonald, A. (2018). Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique. *Energy Reports*, 4, 357–369. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.05.004>
- International Energy Agency. (2022). *Solar PV global supply chains*. <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains>
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.-H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894–900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>
- L'Heureux, M. L., Takahashi, K., Watkins, A. B., Barnston, A. G., Becker, E. J., Di Liberto, T. E., Gamble, F., Gottschalck, J., Halpert, M. S., Huang, B., Mosquera-Vásquez, K., & Wittenberg, A. T. (2017). Observing and predicting the 2015/16

- El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(7), 1363–1382. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0009.1>
- Moharram, K. A., Abd-Elhady, M. S., Kandil, H. A., & El-Sherif, H. (2013). Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(4), 869–877. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.03.005>
- Pani, B. (2025). A review of solar panel efficiency in different weather conditions. *Journal of Renewable Energy and Environmental Engineering*, 12(2), 145–158. https://www.researchgate.net/publication/398151266_A_Review_of_Solar_Panel_Efficiency_in_Different_Weather_Condition
- Polo, J., Martín-Pomares, L., Sanfilippo, A., & Ruiz-Arias, J. A. (2015). Solar radiation mapping in Latin America. *Renewable Energy*, 78, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.12.006>
- Shaaban, A. M. A., Mosa, M. A., El-Samahy, A. A., & Abed, K. A. (2023). Enhancing the performance of photovoltaic panels by cooling: A review. *International Review of Automatic Control (IREACO)*, 16(1), 26–43. <https://doi.org/10.15866/ireaco.v16i1.23181>
- Sharma, R., & Kumar, S. (2019). Study of solar panel efficiency under different weather conditions. *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, 6(2), 654–661. <https://www.ijrar.org/papers/IJAR19D6965.pdf>
- Shein, K. A. (2006). State of the climate in 2005: Executive summary. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(6), 801–805. <https://doi.org/10.1175/BAMS-87-6-801>
- Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*, 83(5), 614–624. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>
- Solar Calculator. (2024). *Solar panels still work on cloudy days*. <https://solarcalculator.com.au/do-solar-panels-work-on-cloudy-days/>
- Šúri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D., & Ossenbrink, H. A. (2007). Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81(10), 1295–1305. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.12.007>
- Tang, I. N. (1996). Chemical and size effects of hygroscopic aerosols on light scattering coefficients. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 101(D14), 19,245–19,250. <https://doi.org/10.1029/96JD03003>