

Artículo original

Análisis del índice de claridad atmosférica diaria en la ciudad de Puno, 2014-2021

Analysis of the daily atmospheric clarity index in the city of Puno, 2014-2021

✉ Lelia Quispe-Huamán

Departamento Académico de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Juliaca, Puno, Perú

Resumen

El índice de claridad atmosférica es un parámetro óptico que resulta de la relación de la radiación solar global y la extraterrestre; dicha relación indica el estado atmosférico de una zona, las condiciones y características climáticas y su cambio en el transcurso del tiempo. El objetivo del presente estudio fue analizar el índice de claridad atmosférica en Puno desde enero del 2014 hasta diciembre del 2021, exceptuando el 2016 por ausencia de datos registrados. La radiación solar global se midió con el piranómetro Kipp & Zonen CMP11 del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Zonal Puno en diferentes condiciones de cielo: muy soleado, soleado, parcialmente nublado y nublado. Según los resultados, el 39,138 % de los días fueron muy soleados, el 25,636 % soleados, el 34,873 % parcialmente nublados y el 0,313 % nublados, con variaciones en el índice de claridad atmosférica de 0,755-0,990, 0,645-0,754, 0,263-0,644 y 0-0,242, respectivamente, y un promedio de radiación solar global de 6,624 kWh/m². En conclusión, este índice de claridad atmosférica es óptimo para la observación astronómica, la aviación y la implementación de los sistemas fotovoltaicos orientados a mitigar la contaminación antropogénica en el medio ambiente de la ciudad y la región de Puno.

Palabras clave: Análisis; Condiciones de cielo; Índice de claridad atmosférico; Puno; Radiación solar global; Radiación solar extraterrestre.

Abstract

The atmospheric clarity index is an optical parameter resulting from the relationship between global solar radiation and extraterrestrial solar radiation; it indicates the atmospheric state of an area, its climatic conditions and characteristics, and their change over time. The objective of this study was to analyze the atmospheric clarity index in Puno from January 2014 to December 2021, except in 2016, as there is no recorded data. Global solar radiation was measured using the Kipp & Zonen CMP11 pyranometer of the National Service of Meteorology and Hydrology for the zone of Puno in different sky conditions: very sunny, sunny, partly cloudy, and cloudy. According to the results, 39.138% were very sunny days, 25.636% sunny days, 34.873% partially cloudy, and 0.313% cloudy, with atmospheric clarity index variations between 0.755-0.990, 0.645-0.754, 0.263-0.644 and 0-0.242, respectively, with an average global radiation of 6.624 kWh/m². This atmospheric clarity index is optimal for studies in astronomy, aviation, and the implementation of photovoltaic systems to mitigate anthropogenic pollution on the environment in the city and region of Puno.

Keywords: Analysis; Sky conditions; Atmospheric clarity index; Puno; Global solar radiation; Extraterrestrial solar radiation.

Citación: Quispe-Huamán L. Análisis del índice de claridad atmosférica diaria en la ciudad de Puno, 2014-2021. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 48(186):169-177, enero-marzo de 2024. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyfyn.2134>

Editor: Santiago Vargas Domínguez

Correspondencia:

Lelia Quispe-Huamán;
l.quispe@unaj.edu.pe

Recibido: 8 de octubre de 2023

Aceptado: 19 de diciembre de 2023

Publicado en línea: 19 de marzo de 2024



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Introducción

El Sol es una esfera de materia gaseosa intensamente caliente cuyo diámetro mide $1,39 \times 10^9$ m; está a una distancia promedio de $1,5 \times 10^{11}$ m de la Tierra y tiene una temperatura efectiva de 5.777 K (Montero-Martín *et al.*, 2020, Santos *et al.*, 2018). El índice de claridad es un parámetro de radiación adecuado para describir diferentes condiciones atmosféricas relacionadas con la transferencia de radiación en la atmósfera (Babatunde & Aro, 1995). La radiación solar es la principal fuente de energía para la tierra. El calentamiento de la superficie terrestre por acción de la radiación solar desencadena fenómenos meteorológicos como la evaporación, la formación de nubes y, en consecuencia, la lluvia (Da Silva *et al.*, 2014). En este sentido, el índice también es importante para evaluar la viabilidad a largo plazo de los proyectos de energía solar en una región (Danso *et al.*, 2020).

Por otra parte, los aerosoles producidos por la quema de biomasa se dispersan a gran distancia lo que, añadido a la presencia de nubes, reduce significativamente la radiación solar directa (Casagrande *et al.*, 2021) y atenúa su incidencia (Danso *et al.*, 2020). Por ello, la evaluación correcta de las condiciones de la nubosidad en cualquier lugar es importante para determinar la disponibilidad característica del recurso solar (Egeonu *et al.*, 2000). Dicha información también puede utilizarse en los estudios orientados al desarrollo de sistemas solares para uso térmico, como la calefacción de ambientes activos o pasivos o la conversión directa de la energía solar en electricidad (Fernando *et al.*, 2022).

Materiales y métodos

Área de estudio y datos utilizados

Puno, capital de la región de Puno, está situada al sur de Perú, en las riberas del lago Titicaca, a una altitud de 3.825 m s.n.m. (latitud: $15^{\circ}49,58'$ y longitud: $70^{\circ}00,73'$) (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2023). El clima es frío y seco, los veranos son lluviosos y nublados, y los inviernos despejados.

Para determinar el índice de claridad atmosférica se utilizaron los datos de la radiación solar global diaria medida con el piranómetro Kipp-Zonen de la estación meteorológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Zonal Puno entre el 1 de enero del 2014 y el 31 de diciembre del 2021. No se incluyó el 2016 porque no se encontraron datos registrados de radiación solar global para ese año.

Índice de claridad atmosférica

El índice de claridad atmosférica se define como la relación entre la radiación solar global medida a nivel del suelo y la radiación extraterrestre en la parte superior de la atmósfera (Rimasilana & Islami, 2022), calculada mediante la ecuación (1).

$$k_t = \frac{R_g}{R_e} \quad (1)$$

donde R_g es la radiación solar global diaria y R_e es la radiación solar global extraterrestre diaria.

Este parámetro, propuesto originalmente por Liu & Jordan (1960), mide la transparencia de la atmósfera; en él se apoyan la mayoría de los métodos para estimar la radiación sobre superficies inclinadas. Se han sugerido diferentes bandas de índice de claridad atmosférico (Yousif *et al.*, 2013) como se presenta en la **tabla 1**.

Tabla 1. Escala del índice de claridad atmosférica

Clasificación de cielo	Índice de claridad atmosférica
Nublado	$0 < k_t \leq 0,2$
Parcialmente nublado	$0,2 < k_t \leq 0,6$
Soleado	$0,6 < k_t \leq 0,75$
Muy soleado	$0,75 < k_t < 1$

Fuente: Yousif *et al.* (2013)

Factores geométricos de la relación entre la Tierra y el Sol

Factor de corrección (E_0). El movimiento de traslación de la tierra consiste en su desplazamiento alrededor del sol siguiendo una elipse de baja excentricidad en la que el sol ocupa uno de los focos; dicha excentricidad lleva a que la distancia entre la tierra y el sol sea variable. El factor de corrección se calcula mediante la ecuación (2) para evaluar la relación entre r_0 y r en función del día del año d_n (Perpiñan, 2020).

$$E_0 = \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = 1 + 0,033 \cos \left[\frac{2\pi d_n}{365} \right] \quad (2)$$

Declinación angular (δ). La eclíptica es el plano de revolución de la Tierra alrededor del Sol (Iqbal, 1983); esta y el eje polar forman un ángulo constante de $23,45^\circ$. Además, el ángulo entre el plano ecuatorial y la línea que forman la Tierra y el Sol es variable a lo largo del año (Duffie & Beckman, 2013). El ángulo de la declinación solar se obtiene mediante la ecuación de Perrin de Brichambaut para el n-ésimo día del año (3):

$$\delta = 0,409 \cdot \text{sen} \left[\frac{2\pi d_n}{365} - 1,39 \right] \quad (3)$$

Ángulo horario (ω). Este mide el movimiento del Sol con respecto al mediodía, que es el momento en que el Sol pasa al plano meridiano del lugar (cenit). Este ángulo de tiempo es negativo si el tiempo solar es inferior a las 12 p.m. El concepto se utiliza para describir la rotación de la Tierra, la cual equivale a $+15^\circ$ por hora durante la mañana y -15° por la tarde (Ben Othman *et al.*, 2018), como lo indicada la ecuación (4).

$$\omega = \cos^{-1} (-\text{tg} \phi \cdot \text{tg} \delta) \quad (4)$$

Radiación solar extraterrestre (R_e). La radiación extraterrestre es la incidencia de la radiación solar fuera de la atmósfera de la Tierra (Maleki *et al.*, 2017). Cuando el sol está más cerca de la Tierra, el 3 de enero, el calor en el borde exterior de la atmósfera de la tierra es de aproximadamente 1.400 W/m^2 ; y cuando el sol está más alejado, el 4 de julio, es de aproximadamente 1.330 W/m^2 (Kalogirou, 2014), según se indicada en la ecuación (5).

$$R_e = \frac{24(60)}{\pi} E_0 I_{cs} (\omega \text{sen} \phi \text{sen} \delta + \cos \phi \cos \delta \text{sen} \omega) \quad (5),$$

dónde la constante solar es $I_{cs} = 0,082 [\text{MJm}^2 \text{ día}^{-1}]$, ϕ es la latitud, δ el ángulo de declinación, ω el ángulo horario y E_0 el factor de corrección.

Resultados y discusión

El índice de claridad atmosférica se determinó para cada día desde enero del 2014 hasta diciembre del 2021, exceptuando el año 2016, ya que no se encontraron datos registrados de la radiación solar global.

La **figura 1** ilustra el comportamiento de la radiación solar global diaria desde el 1 de enero del 2014 hasta el 31 de diciembre del 2021 según las mediciones con el piranómetro Kipp-Zonen. En los años 2014, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021 se obtuvieron variaciones de 2,997-10,838, 2,072-10,405, 2,395-10,896, 0,622-9,633, 3,044-9,070, 1,619-9,747, 2,124-9,240 kWh/m^2 , respectivamente. Asimismo, la radiación solar extraterrestre se estimó en función del día juliano, la latitud de la zona y los ángulos solares diarios. Los mayores valores se obtuvieron en primavera y los mínimos en invierno. El máximo valor obtenido fue de $11,428 \text{ kWh/m}^2$, para el día 27 de diciembre, y el mínimo fue de $7,263 \text{ kWh/m}^2$, para el 22 de junio, con un promedio de $9,694 \text{ kWh/m}^2$.

La radiación solar global se incrementó a partir de la primavera (septiembre), pero en verano alcanzó valores altos debido a la cercanía entre el Sol y la Tierra, la ubicación de Perú con respecto a la línea ecuatorial y la disminución de concentraciones de ozono en la atmósfera. Cabe señalar que la radiación solar global es responsable de los principales procesos naturales que ocurren en la superficie terrestre y que incluyen desde los bioquímicos, como la fotosíntesis, hasta los procesos físicos y los meteorológicos.

Se estableció, asimismo, la relación entre el índice de claridad atmosférica diaria, a partir de la radiación solar global estimada con el modelo de Bristow-Campbell y las medidas tomadas con el piranómetro Kipp-Zonen, que se asemejan por la similitud entre ambos parámetros, en los que las oscilaciones estacionales de radiación solar global se deben a los solsticios en el hemisferio sur del planeta, obteniéndose una correlación de Pearson de $R=0,872$ indicativa de un alto valor de confianza (87,2 %). Cabe mencionar que el modelo Bristow-Campbell fue desarrollado por **Quispe & Sotomayor (2022)**.

En la **figura 2** se ilustra el comportamiento del índice de claridad atmosférica diaria desde enero del 2014 hasta diciembre del 2021, exceptuando, como se dijo, el año 2016. Cabe señalar que comprender la relación de la radiación solar global incidente en el tope de la atmósfera y en la superficie terrestre es fundamental para la comprensión de los fenómenos agronómicos y meteorológicos.

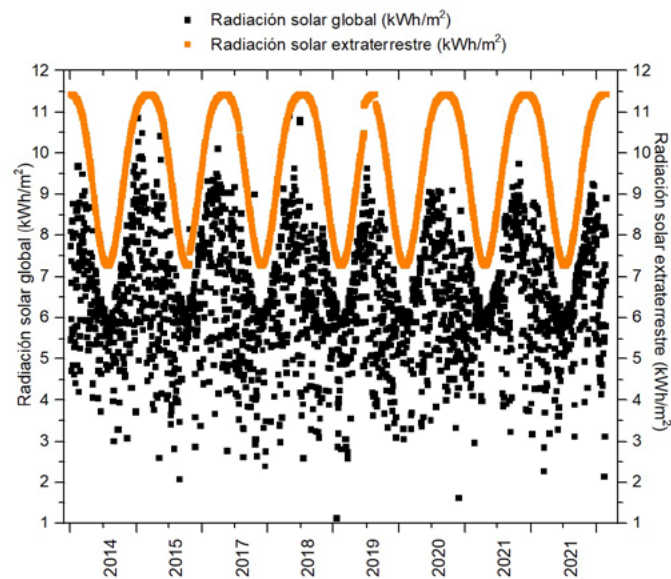


Figura 1. Radiación solar global y extraterrestre diaria registrada desde el 2014 hasta el 2021

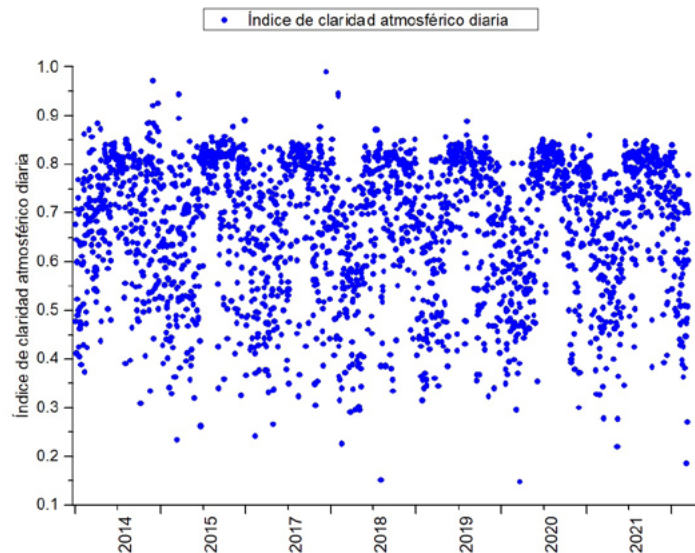


Figura 2. Índice de claridad atmosférica diario desde el 2014 hasta el 2021

El índice de claridad atmosférica diaria varió entre 0,310-0,972, 0,234-0,944, 0,226-0,990, 0,081-0,872, 0,324-0,889, 0,148-0,860, 0,186-0,849 en los años 2014, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, respectivamente, a partir de la escala de la **tabla 1** (Yousif *et al.*, 2013).

En la **figura 3** se ilustra el comportamiento del índice de claridad atmosférica y de la radiación solar global diaria durante el 2021. Como se observa, se comportan de forma opuesta, ya que cuando los valores de la radiación solar global son bajos, el índice de claridad es alta durante los meses de mayo, junio, julio y agosto, pues estos se caracterizan por la presencia de heladas debido a que la ausencia de nubes ocasiona que el calor se pierda hacia el espacio, provocando la disminución rápida de la temperatura hasta los 0 °C o menos. Asimismo, se presenta la temporada de sequía, con cielos muy despejados, disminución del recurso hídrico e incendios forestales en la zona altiplánica de la región de Puno.

El índice de claridad atmosférica y la radiación solar global se comportan de forma dispersa en el resto de los meses, ya que son lluviosos, con una alta porción de componentes difusos como la presencia de nubes, que nos abrigan manteniendo el calor y vapor de agua los cuales favorecen el crecimiento y producción de productos agrícolas tales como la papa, la quinua, y las habas, entre otros.

Además estudios realizados por **Quispe** (2023) para el año 2021 obtuvo resultados del porcentaje de condiciones de cielo del 36,164 %, 27,945 %, 35,342 % y 0,548 % para días muy soleados, soleados, parcialmente nublados y nublados respectivamente. También es relevante mencionar que en el mes de julio se registró el 84 % de días fue muy soleado, es decir sin presencia de nubes, por lo tanto, el índice de claridad atmosférico en la ciudad de Puno varía según la época del año.

Según **Okogbue et al.** (2008), por ejemplo, las condiciones del cielo fueron predominantemente nubosas y los cielos estuvieron nublados aproximadamente el 88 % del tiempo durante todo el año en la estación de Ile-Ife, Nigeria, debido a la dispersión molecular del haz de radiación por los aerosoles y las nubes que mantuvieron el cielo turbio y nublado la mayor parte del tiempo.

En la **tabla 2** se muestran los intervalos de variación del índice de claridad atmosférica en diferentes condiciones de cielo: muy soleado, soleado, parcialmente nublado y nublado, desde enero del 2014 hasta diciembre del 2021. En los días muy soleados se obtuvo un

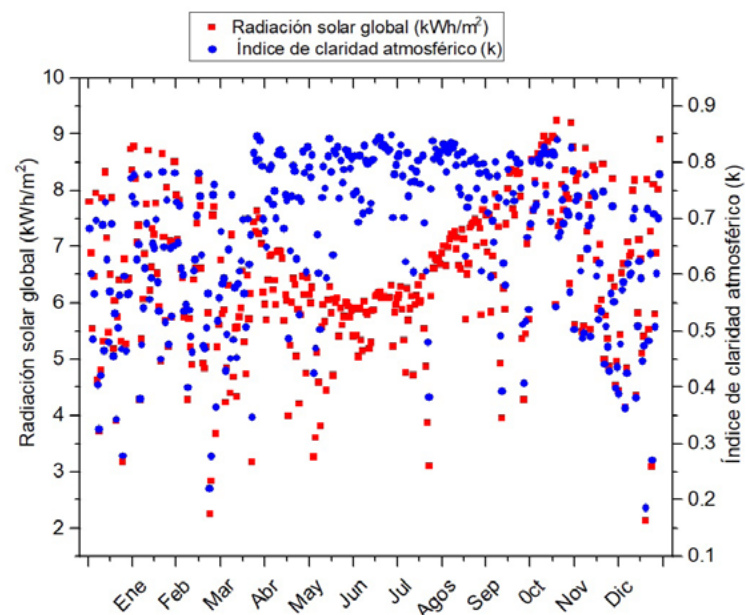


Figura 3. Índice de claridad atmosférica y radiación solar global diaria durante 2021

valor máximo de 0,990 y uno mínimo de 0,745; en los días soleados un máximo de 0,754 y un mínimo de 0,645; en los días parcialmente nublados un máximo de 0,644 y un mínimo de 0,263, y en los días nublados un máximo de 0,242 y un mínimo de 0,081.

La **figura 4** ilustra el porcentaje de condiciones del cielo en la ciudad de Puno desde el 2014 hasta el 2021. Los días muy soleados representaron entre el 37,3 y 42,1 %; los soleados, entre el 20,3 y el 28,5 %; los parcialmente nublados entre el 31,5 y el 38,6 %, y los nublados entre el 0 y el 0,5 %.

En la **tabla 3** se registra un valor promedio máximo de índice de claridad de 0,695 en el 2014 y un valor promedio mínimo de 0,657 en el 2018. También se obtuvo un valor máximo de radiación solar global de 6,670 kWh/m² en el 2014 y uno mínimo de 6,214 kWh/m² en el 2018.

En la **figura 5** se muestra el porcentaje de los promedios de las condiciones del cielo en la ciudad de Puno desde el 1 enero del 2014 hasta el 31 de diciembre del 2021.

El porcentaje de días nublados se expresó como $0 < k_t \leq 0,2$ (presencia de nubes durante el día); el de días parcialmente nublados como $0,2 < k_t \leq 0,6$ (sol con presencia de nubes durante el día); el de días soleados como $0,6 < k_t \leq 0,75$ (sol con pocas nubes), y el de muy soleados como $0,75 < k_t < 1$ (sol sin nubes) (**Yousif et al.**, 2013).

Tabla 2. Variación anual del índice de claridad atmosférica

Año	Intervalos de condiciones de cielo			
	Nublado	Parcialmente nublado	Soleado	Muy soleado
2014	-	0,310-0,643	0,645-0,754	0,755-0,972
2015	0-0,234	0,263-0,644	0,645-0,751	0,755-0,944
2017	0-0,242	0,267-0,644	0,645-0,752	0,755-0,990
2018	0-0,152	0,291-0,644	0,646-0,754	0,755-0,872
2019	-	0,324-0,642	0,652-0,743	0,745-0,889
2020	0-0,148	0,296-0,644	0,645-0,754	0,755-0,860
2021	0-0,220	0,271-0,643	0,645-0,754	0,755-0,849

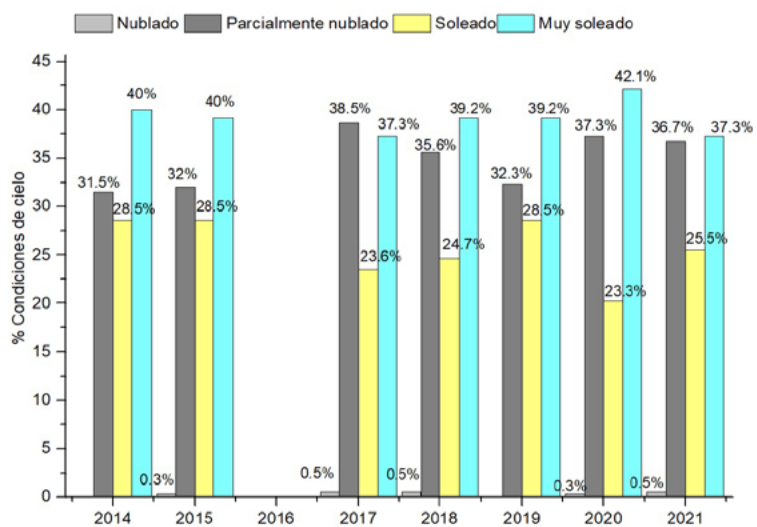


Figura 4. Porcentaje del índice de claridad atmosférica anual desde el 2014 hasta el 2021

Tabla 3. Promedios anuales de índice de claridad atmosférica y radiación solar global

Mes	Índice de claridad atmosférica promedio	Radiación solar global promedio en kWh/m ²
2014	0,695	6,670
2015	0,680	6,596
2017	0,659	6,287
2018	0,657	6,214
2019	0,676	6,338
2020	0,678	6,466
2021	0,670	6,395
Promedio	0,674	6,424

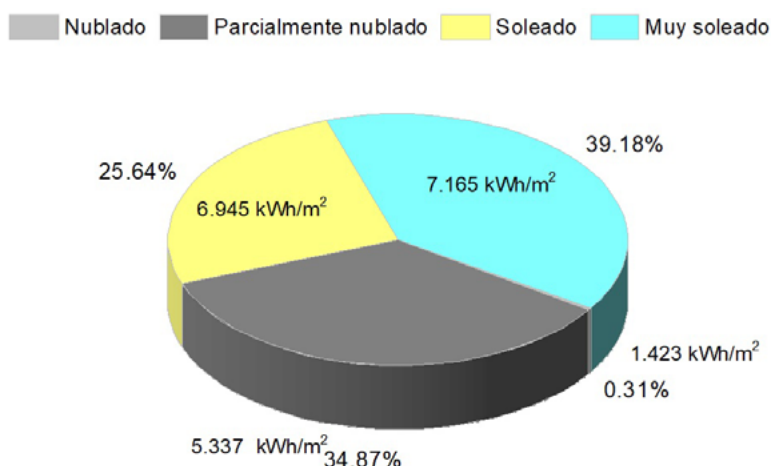


Figura 5. Porcentaje de las condiciones del cielo y la radiación solar global durante el periodo 2014-2021

En este sentido, en estudios realizados por **Fernando et al.** (2022) durante un año en la ciudad de Maputo, Mozambique, se observaron más días con condiciones de cielo despejado, 120 días en promedio, en tanto que las condiciones de cielo nublado fueron las de menor frecuencia, con un promedio de 48 días. La frecuencia de las condiciones de cielo parcialmente nublado y parcialmente despejado fue de 85 y 112 días, respectivamente.

Según estudios realizados por **Forero et al.** (2008) y **Rodríguez et al.** (2015) a partir de datos de radiación solar global obtenidos en la Universidad Distrital, el valor medio mensual de índice de claridad atmosférica en Bogotá fue de 0,358 en el estudio del primero y de 0,330 en el del segundo, en tanto que el promedio anual fue de 0,674 en Puno (**Tabla 3**).

Por su parte, **Egeonu et al.** (2000) encontraron en su estudio que el índice de claridad atmosférica mínimo fue de 0,055 en la ciudad de Nsukka (entre 0,055 y 0,610), por encima del valor generalmente aceptado de 0,05 en condiciones de cielo nublado. Asimismo, **Njoku et al.** (2022) encontraron en el noroeste de Nigeria que el índice de claridad promedio mensual oscilaba entre 0,420 y 0,690, es decir, prevalecía la condición de cielo nublado, y observaron que agosto era el mes de peor aprovechamiento de la radiación solar en la zona. En Uganda, **Muhamad & Ndubuisi** (2020) observaron que el índice de claridad variaba en las diferentes regiones: en la región norte era de 0,5288 a 0,6077; en la región oriental de 0,5609 a 0,6077; en la región central de 0,5123 a 0,6224, y en la región

occidental de 0,5123 a 0,5893. En Puno, en cambio, osciló entre 0,081 y 0,990, con mayor concentración de nubosidad y presencia de lluvias en verano, en tanto que los días de cielo despejado prevalecieron en los días fríos y secos del invierno.

Conclusiones

El índice de claridad atmosférica varió durante los años de estudio: los días nublados se dieron en el intervalo entre 0 y 0,242; los parcialmente nublados entre 0,263 y 0,644; los soleados entre 0,645 y 0,754, y los muy soleados entre 0,755 y 0,990, según la escala de la **tabla 1**. De los 2.555 días analizados, 1.001 días (39,18 %) fueron muy soleados; 655 días (25,64 %) fueron soleados; 891 días (34,87 %) fueron parcialmente nublados, y ocho días (0,31 %) fueron nublados, con un potencial solar de 7,165, 6,945, 5,337 y 1,423 kWh/m², respectivamente (**Figura 5**), lo que confirma la gran cantidad de días despejados característica del clima del área de estudio.

Estos resultados son de gran importancia, ya que el índice de claridad atmosférica es un parámetro valioso para diseñar sistemas de fuentes de energías renovables y sistemas solares para la conversión directa de la radiación solar en electricidad, el uso térmico de calefacción pasiva o activa de ambientes, la aviación, y la física atmosférica, entre otros orientados al desarrollo de proyectos ambientales, energéticos, agrícolas y económicos en la región de Puno. Además, la radiación solar, debe aprovecharse en el área rural para generar energía destinada al bombeo de agua de riego y otros servicios en predios familiares (**Montero, 2022**).

Agradecimientos

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Zonal Puno por los datos cedidos para la realización de este trabajo.

Conflicto de intereses

La autora declara no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Babatunde, E. B., Aro, T. O.** (1995). Relationship between “clearness index” and “cloudiness index” at a tropical station (Ilorin, Nigeria). *Renewable Energy*, 6(7), 801-805. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)00087-M](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)00087-M)
- Ben Othman, A., Belkilani, K., Besbes, M.** (2018). Global solar radiation on tilted surfaces in Tunisia: Measurement, estimation and gained energy assessments. *Energy Reports*, 4, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2017.10.003>
- Casagrande, M. S. G., Martins, F. R., Rosário, N. E., Lima, F. J. L., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Zarzur, M., Pes, M. P., & Pereira, E. B.** (2021). Numerical assessment of downward incoming solar irradiance in smoke influenced regions—a case study in Brazilian Amazon and cerrado. *Remote Sensing*, 13(22), 1-30. <https://doi.org/10.3390/rs13224527>
- Da Silva Martins, P. A., Santos Querino, C. A., Marques Pavão, V., Albuquerque da Silva Querino, J. K., Gomes Machado, N., Sacardi Biudes, M.** (2014). Verificação da turbidez atmosférica em Humaitá-Am. *Revista EDUCamazônia*, XII, 86-98.
- Danso, D. K., Anquetin, S., Diedhiou, A., & Adamou, R.** (2020). Cloudiness information services for solar energy management in West Africa. *Atmosphere*, 11(8), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ATMOS11080857>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A.** (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons Inc.
- Egeonu, D. I., Njoku, H. O., Enibe, S. O.** (2000). Sky conditions at Nsukka as characterized by clearness index. *Solar Energy*, 69(1), 45-53. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00008-6)
- Fernando, D. M. Z., Calça, M. V. C., Noris, F. J., Raniero, M. R., Dal Pai, A.** (2022). Classification of Sky Cover by the Clearness Index (K_t) in Maputo - Mozambique. *Research, Society and Development*, 11(6), e20611628887. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28887>
- Forero, N. L., Mesa, W., Martínez, M. A., Caicedo, L. M., Gordillo, G.** (2008). Estimación del valor medio mensual del índice de claridad atmosférico (K). *Revista Colombiana De Física*, 40(1), 167-169.

- Iqbal, M.** (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press.
- Kalogirou, S. A.** (2014). *Solar Energy Engineering Processes and Systems*. Academic Press. <http://store.elsevier.com/>
- Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C.** (1960). The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*, 4(3), 1-19. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(60\)90062-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(60)90062-1)
- Maleki, S. A. M., Hizam, H., & Gomes, C.** (2017). Estimation of hourly, daily and monthly global solar radiation on inclined surfaces: Models re-visited. *Energies*, 10(1), 1-28. <https://doi.org/10.3390/en10010134>
- Montero-Martín, J., Antón, M., Vaquero-Martínez, J., Sánchez-Lorenzo, A.** (2020). Comparison of long-term solar radiation trends from CM SAF satellite products with ground-based data at the Iberian Peninsula for the period 1985-2015. *Atmospheric Research*, 236, 104839 <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104839>
- Montero-Torres, J.** (2022). Relación de la radiación solar con la producción de plantas agroproductivas. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9, 1-15.
- Muhamad, M. & Ndubuisi, S.** (2020). Algorithmized Modelling, Simulation and Validation of Clearness Index in Four Regions of Uganda. *Journal of Solar Energy Research*, 5(2), 432-452.
- Njoku, M. C., Isong, I. F., Njoku, A. N., Kennet, E. A., Neebani, T.** (2022). Solar Radiation Evaluation in North-East Geo-Political Zone of Nigeria. *Iconic Research and Engineering Journals*, 5, 140-151.
- Okogbue, E. C., Adedokun, J. A., Holmgren, B.** (2008). The impact of the positive Indian Ocean dipole on Zimbabwe droughts Tropical climate is understood to be dominated by. *International Journal of Climatology*, 2029, 2011-2029. <https://doi.org/10.1002/joc>
- Perpiñan Lamigueiro, O.** (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*. <http://oscarperpinan.github.io/esf/>.
- Quispe-Huamán, L., Sotomayor-Alzamora, G.** (2022). Determinación y análisis temporal de la radiación solar global en el Altiplano de Puno. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 30(1), 69-81. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052022000100069>
- Quispe Huamán, L.** (2023). Índice de claridad atmosférica diaria en la ciudad de Puno. *Revista del Altiplano de Ciencias Básicas y Aplicadas*, 1(1), 75-84.
- Rimasilana, D. & Islami, M. I.** (2022). Seasonal Characteristic of Sky Conditions based on Clearness Index on Aceh Besar. *Buletin GAW Bariri*, 3(2), 32-40. <https://doi.org/10.31172/bgb.v3i2.76>
- Rodríguez-Patarroyo, D. J., Hernández, J., Simbaqueva, O.** (2015). Análisis estadístico del índice de claridad atmosférica para la ciudad de Bogotá. *Revista Científica*, 1(21), 65. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.rc.2015.21.a6>
- Santos, J. J. C. S., Palacio, J. C. E., Reyes, A. M. M., Carvalho, M., Freire, A. J. R., Barone, M. A.** (2018). Concentrating Solar Power. In *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (Vol. 1, pp. 373-402). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812959-3.00012-5>
- Yousif, C., Quecedo, G. O., Santos, J. B.** (2013). Comparison of solar radiation in Marsaxlokk, Malta and Valladolid, Spain. *Renewable Energy*, 49, 203-206. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.031>