



Estimación de la irradiación solar global en la ciudad de Puno periodo 2022 y 2023

Estimation of global solar irradiation in the city of Puno period 2022 and 2023

Matias Huillca Arbieto^{1*}, Juan Carlos Vilca-Tisnado¹, Percy Arturo Ginez Choque² y Edilberto Velarde Coaquira²

¹ Escuela profesional de Ciencias Físico Matemática, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

² Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Resumen

La estimación de la irradiación solar global, entre muchas aplicaciones sirve para identificar posibles lugares, como fuentes de energía renovable fotovoltaicas. También se utiliza para estimar el índice de irradiación solar ultravioleta (IUV). Debido a su ubicación geográfica, la región de Puno presenta valores muy altos de la irradiación solar global. El objetivo de este trabajo es estimar la irradiancia global a partir del modelo SBDART para cielos sin presencia de nubes, y comparar con las mediciones obtenidas de la estación meteorológica ubicada en la ciudad de Puno. En la metodología se clasificó 183 días, 2013 datos de cielos sin presencia de nubes, se utilizó el estadístico MBE, MABE, RMSE y el coeficiente de correlación. La estimación con el modelo, muestran que hay una relación inversa con los aerosoles presentes, mientras que la relación es directa con el albedo del lugar. La correlación entre el modelo y las mediciones es de 0,99 y 0,99 para los años 2022 y 2023 respectivamente. Los indicadores estadísticos utilizados clasifican al modelo como muy bueno. Por otro lado, el modelo SBDART permite también, estimar los valores del IUV. Se observa que, en la estación de verano, el IUV se registra valores de 19 y que se incrementan hasta fines de febrero durante el periodo de estudios, estos valores altos son extremadamente peligrosos según la OMS. Los casos clínicos del ministerio de salud, región Puno reportan cáncer de piel, desde los años 2020, 2021, 2022 y 2023 con 7, 21, 39 y 60 casos respectivamente. Mientras que los casos oculares, como cataratas, en los años 2020, 2021 y 2022 fueron 825, 1194 y 1915 respectivamente. Se atribuye este incremento principalmente a la irradiación ultravioleta, no se descarta otros factores, demografía, dieta, y factores hereditarios.

Palabras clave: irradiancia global, índice ultravioleta, albedo, aerosol.

Abstract

The estimation of global solar irradiation, among many applications, is used to identify possible locations as photovoltaic renewable energy sources. It is also used to estimate the ultraviolet solar irradiation index (UVI). Due to its geographical location, the Puno region presents very high values of global solar irradiation. The objective of this work is to estimate global irradiance from the SBDART model for cloudless skies, and compare it with the measurements obtained from the meteorological station located in the city of Puno. In the methodology, 183 days, 2013 data of cloudless skies were classified, the MBE, MABE, RMSE statistics and the correlation coefficient were used. The estimation with the model shows that there is an inverse relationship with the aerosols present, while the relationship is direct with the albedo of the place. The correlation between the model and the measurements is 0.99 and 0.99 for the years 2022 and 2023 respectively. The statistical indicators used classify the model as very good. On the other hand, the SBDART model also allows estimating the IUV values. It is observed that, in the summer season, the IUV registers values of 19 and that they increase until the end of February during the study period; these high values are extremely dangerous according to the WHO. The clinical cases of the Ministry of Health, Puno region, report skin cancer, from the years 2020, 2021, 2022 and 2023 with 7, 21, 39 and 60 cases respectively. While ocular cases, such as cataracts, in the years 2020, 2021 and 2022 were 825, 1194 and 1915 respectively. This increase is mainly attributed to ultraviolet irradiation, other factors, demographics, diet, and hereditary factors are not ruled out.

Keywords: global irradiance, ultraviolet index, albedo, aerosol.

Recibido: 20 dic. 2023

Aceptado: 08 mzo. 2024

Publicado: 31 mzo. 2024

*Autor para correspondencia: mhuillca@unap.edu.pe

Cómo citar:

Huillca Arbieto, M., Vilca Tisnado, J. C., Ginez Choque, P. A., & Velarde Coaquira, E. (2024). Estimación de la irradiación solar global en la ciudad de Puno periodo 2022 y 2023. *Revista de Investigaciones*, 13(1), 48-56. <https://doi.org/10.26788/ri.v13i1.6038>.

Introducción

La irradiación solar se define como la energía originada del Sol y medida en la superficie de la Tierra; siendo un recurso natural que ha perdurado hasta ahora y es un factor importante para el desarrollo del ecosistema y la biodiversidad. Se cuantifica por medio de la irradiación solar global (Rad), una magnitud que representa la cantidad de energía electromagnética incidente en una superficie por unidad de tiempo y por unidad de área. Fuera de la atmósfera terrestre tiene un valor aproximado de 1395 W/ m^2 (Varo Martínez, 2006). Una parte de la Rad de (283-315) nm se denomina irradiación ultravioleta tipo B, que es muy nocivo para las personas a partir de esta radiación se obtiene el índice de irradiación ultravioleta (IUV) (WHO 2003).

Debido a que los combustibles fósiles (petróleo y carbón) no son muy amigables con el medio ambiente, las investigaciones priorizan el estudio de la radiación solar, como fuente de energía alternativas no convencionales como, por ejemplo, paneles solares, colectores solares (Carrión-Chamba, 2022).

El artículo de Miguel sobre las irradiaciones solares global se registró en un área rural de Valladolid (España) durante un período de 49 meses, con el análisis de los datos, propone un modelo para estimar y reconstruir dicha radiación (De Miguel et al., 2012).

Mimbela en el año 2016 desarrolla un análisis sobre el comportamiento estacional de la irradiación solar ultravioleta en diferentes ciudades de la región Piura. Costa Norte del Perú. Desde un aspecto cualitativo, emplea la escala de valores del Índice UV, definida de 1 a 14 (WHO 2003). Los resultados, demuestran la variabilidad del índice de radiación ultravioleta en función de la estacionalidad, concluyendo que la región de Piura presenta niveles de irradiación ultravioleta entre altos a extremos durante todo el año (Dedios Mimbela, 2016).

Quispe L. realiza en la región Puno, estima la irradiación solar global desde 2007 al 2013 a partir de las temperaturas diarias máximas y mínimas, utilizando el modelo de Bristow y Campbell, este

trabajo permite reconstruir la evolución temporal de la Rad global en la ciudad de Puno (Quispe & Sotomayor, 2022).

Ciro Huamán, desarrolló en un aplicativo móvil, para estimar en tiempo real el IUV mediante un modelo y el sensor de luz de un teléfono celular, para ello desarrollo una aplicación en Android Studio (Huaman et al., 2023).

Siendo la irradiación ultravioleta parte del espectro de la irradiación solar, tiene interés en la comunidad científica, la literatura muestra los efectos de la irradiación ultravioleta sobre la vida acuática (Jacquet, 2003), plantas (Paoletti, 2005; Sweet, 2012), vegetación (Kunz, 2006; Li, 2010), animales (Pahkala, 2003; Sinha, 2002), ecosistemas terrestres y marinos (Rozema et al., 2002), conservación y durabilidad de materiales como el plásticos y la pintura (Allen, 2008; Johnson, 1996; Liu, 2002; Verbeek, 2011). También tiene la capacidad de causar daño directo e inmediato a la salud humana, como el cáncer de piel y las cataratas (Gallagher, 2006; Santos, 2011). Pero no toda la irradiación es perjudicial, en el trabajo de Fioletov se estudió la relación de UV-A con la vitamina D (Fioletov, 2009).

Muchos autores de España analizaron la irradiación solar ultravioleta (UVER) en diferentes regiones del país: (Cañada, 2008; Foyo, 1998; Serrano, 2006), entre otros. Para estudios del UVER en Eslovaquia Pribullová (2008) propuso los mapas de Isolina. Mientras que Badarinath (2008), examinó la influencia de las actividades naturales y antropogénicas en los rayos UV sobre una región tropical en la India.

El objetivo de este trabajo es proponer un modelo que permita estimar la Rad para cielos sin presencia de nubes y comparar con los valores medidos (Huillca Arbieto, 2023).

Materiales y métodos

Ubicación geográfica

La investigación se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano, ubicado en la ciudad de Puno, con Latitud: $15,824075^\circ \text{ S}$, Longitud: $70,01862^\circ \text{ O}$ y altitud $3\ 820 \text{ m.s.n.m}$

Diseño de investigación

Se utilizaron dos estaciones meteorológica marca DAVIS Instruments, modelo Vantaje Pro2- Plus, tiene una resolución de 1 W/m² para la Rad y de 0,1 para el IUV, rango de 0 a 16 para el IUV. La estación, está ubicado en la azotea del pabellón de ingeniería civil.

Para la clasificación del modelo y su respectiva correlación, entre los valores medidos y estimados, se utilizaron los siguientes indicadores estadísticos (Martinez, 1996).

MBE Es un indicador de la desviación media entre el modelo y permite saber si el modelo sobrestima (MBE>0) o subestima (MBE<0) las medidas, está definido como (Mao, 2013; Wang, 2014).

$$MBE(\%) = \frac{100\% \sum_{i=1}^N (X_{cal,i} - X_{med,i})}{\bar{X}_{med} N} \quad (1)$$

MABE Es un indicador que sirve para analizar cómo se ajusta el modelo a las medidas. Se define de la forma siguiente: (Martinez 1996; Iqbal 1983; Dedios Mimbela 2016).

$$MABE(\%) = \frac{100\% \sum_{i=1}^N |X_{cal,i} - X_{med,i}|}{\bar{X}_{med} N} \quad (2)$$

RMSE También es un indicador estadístico que analiza cómo se ajusta el modelo a las medidas, se define como: (Yanfeng 2017)

$$RMSE(\%) = \frac{100\%}{\bar{X}_{med}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{cal,i} - X_{med,i})^2}{N}} \quad (3)$$

Dónde: X_{cal} y X_{med} representan los valores calculados y medidos, \bar{X}_{cal} , \bar{X}_{med} son los valores promedio calculado y medido, N la cantidad de datos.

La literatura clasifica los indicadores estadísticos MABE y RMSE según el siguiente criterio:

Excelente, si RMSE <10 %; Bueno, cuando 10 % < RMSE <20 %; Regular, si 20 % < RMSE <30 %; deficiente, si RMSE > 30 %. Similarmente para MABE (Yanfeng 2017; Mao 2013).

El modelo SBDART

El modelo. Santa Barbara Disort Atmospheric Radiative Transfer (SBDART) es de dispersión múltiple, considera una atmósfera plano-paralela

(Paul & Ricchiazzi, 1988) Este programa está escrito en código FORTRAN, está disponible en la red en FTP anónimo, organizado y documentado.

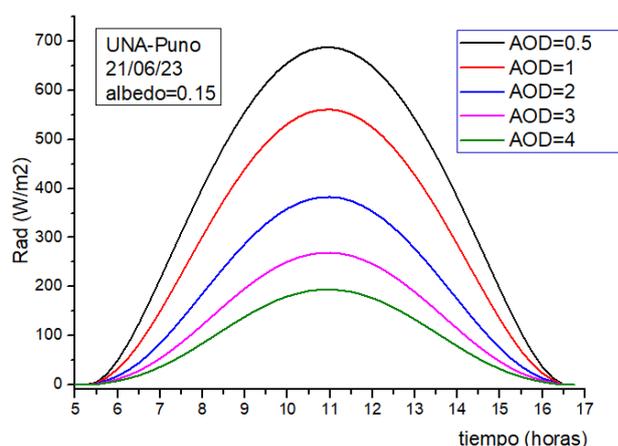
Este modelo resuelve numéricamente la ecuación de transferencia radiativa haciendo uso del algoritmo Disort. Utiliza hasta 65 capas de atmósfera y 40 ángulos cenitales y azimutales. Las estimaciones del modelo son para cielos sin nubes.

Se utiliza este modelo en la actualidad, para la predicción de la Rad en diferentes ciudades (Bilbao & Miguel, 2013).

Resultados y Discusiones

La estimación de la Rad utilizando el modelo SBDART para el 21 de junio (solsticio de invierno), con un espesor de 240 UD en la capa de ozono, un albedo de 0,15, mientras que los AOD (espesores ópticos de aerosoles) varían de 0.5; 1; 2; 3; 4, el comportamiento de la Rad se muestra en la figura 1.

Figura 1
 Comportamiento de la Rad, en función de la variación del AOD



De en la figura 1 utilizando el modelo SBDART, puede observarse que a medida los aerosoles aumentas (AOD) la irradiación solar disminuye, se explica este comportamiento, porque que el incremento de los aerosoles aumenta la dispersión de la irradiación solar fuera de la atmósfera terrestre.

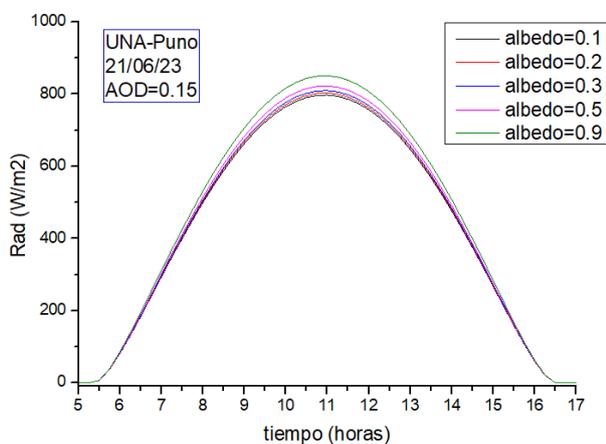
La siguiente figura 2, muestra el comportamiento de la Rad en función del tiempo, cuando se

incrementa el albedo del lugar, manteniendo constante el espesor de la capa de ozono en 240 UD y el AOD=0,15.

Con respecto a la figura 2, la estimación del modelo SBDART, se puede observar una relación directa de la Rad con el albedo del lugar, este aumento de la Rad se explica debido al reflejo, tanto de la superficie del lugar, aire local lago Titicaca, que redireccionan los rayos hacia el sensor que mide la Rad.

Figura 2

Estimación de la Rad, cuando varía el albedo del lugar (Marín, Utrillas, and Lozano 2013)



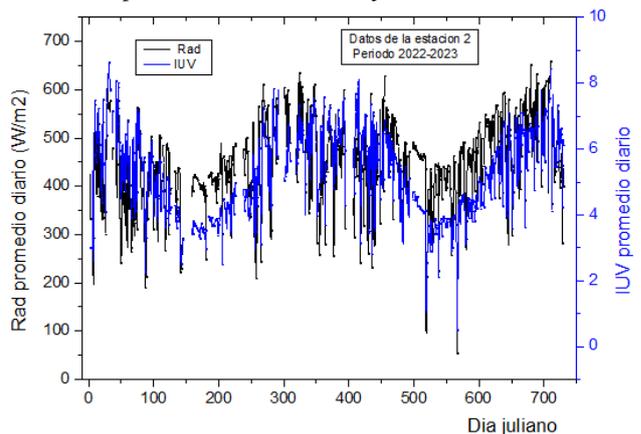
A continuación, en la figura 3 se muestran los valores promedio diario del IUV y Rad de la estación meteorológica desde el año 2022-2023, puede notarse la relación directa entre estas dos variables, también tiene un comportamiento cíclico, los valores máximos se presenta en los meses de enero y febrero (verano), mientras que los valores mínimos en los meses de junio y julio (invierno).

Durante el periodo setiembre del 2023 se presentamos días anómalos (cielos cubiertos de nubes) debido a masa de aire fría proveniente de la zona austral, el valor mínimo es de 156 W/m² que se presentó en la segunda quincena del mes de julio, los valores máximos de la irradiación solar fueron 1 603 W/m² el día 26 de noviembre del 2023.

Para la correlación de los valores medidos y estimación de la Rad se consideró los siguientes datos de entradas en el modelo SBDART, como el espesor de la capa de ozono en 240 UD, para el albedo de lugar, se eligió la zona urbana.

Figura 3

Evolución temporal promedio diario de la Rad y el IUV, durante el periodo de estudio 2022 y 2023



La comparación para algunos días aleatorios del periodo de estudio, se muestra a continuación en las figuras 4, 5, 6 y 7.

Figura 4

Comparación de los valores medidos y estimados de la Rad para cielos sin presencia de nubes 10 de enero del 2022

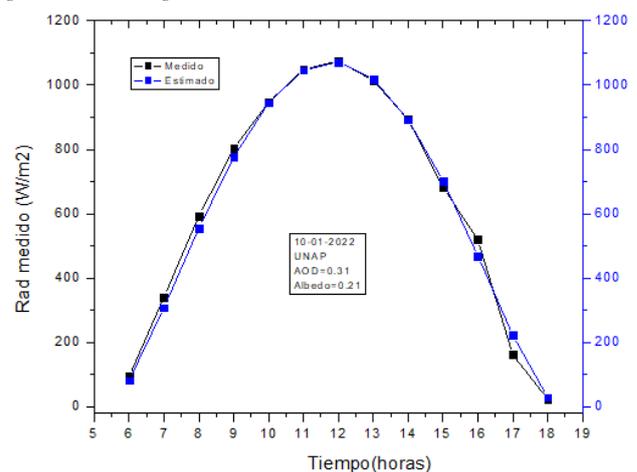


Figura 5
 Comparación de los valores medidos y estimados de la Rad para cielos sin presencia de nubes 15 de diciembre del 2022

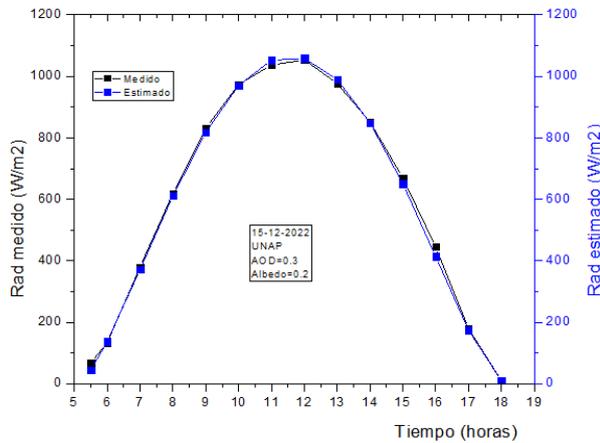


Figura 6
 Comparación de los valores medidos y estimados de la Rad para cielos, que presentan ligera nubosidad en la tarde, para el 18 de agosto del 2023

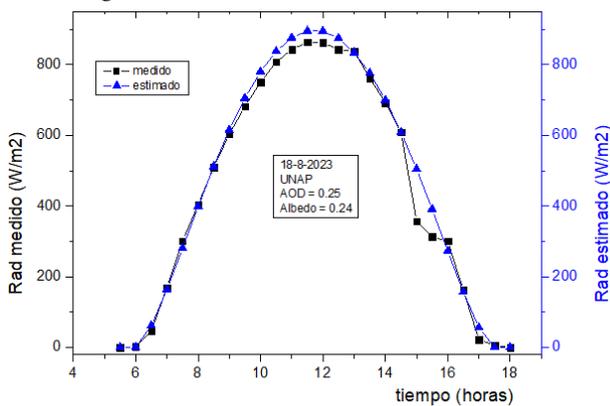
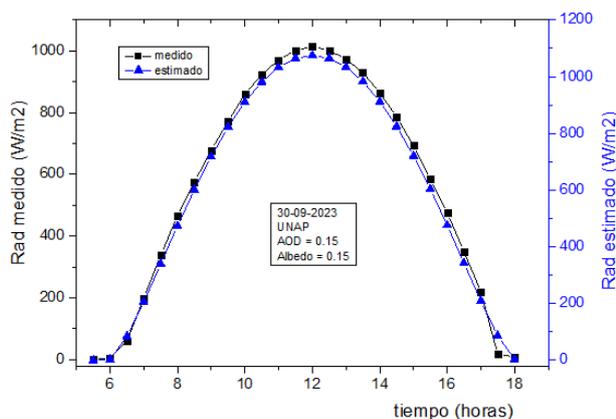


Figura 7
 Comparación de los valores medidos y estimados de la Rad para condiciones de cielo casi sin presencia de nubes, 20 de setiembre del 2023



Las figuras 8 y 9 muestran una excelente correlación siendo sus valores de 0,998 para los 2 días del año 2022 y 0,994 para los dos días del año 2023. A partir de estos resultados, el modelo SMARTS puede estimar cualitativa y cuantitativamente los aerosoles presentes en el lugar.

Figura 8
 Correlación de la Rad medido vs estimado de los días 10 de enero y 15 de diciembre del 2022, para cielos sin presencia de nubes

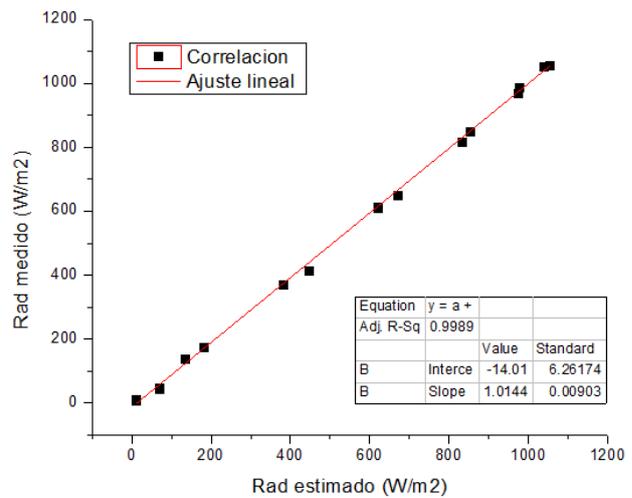
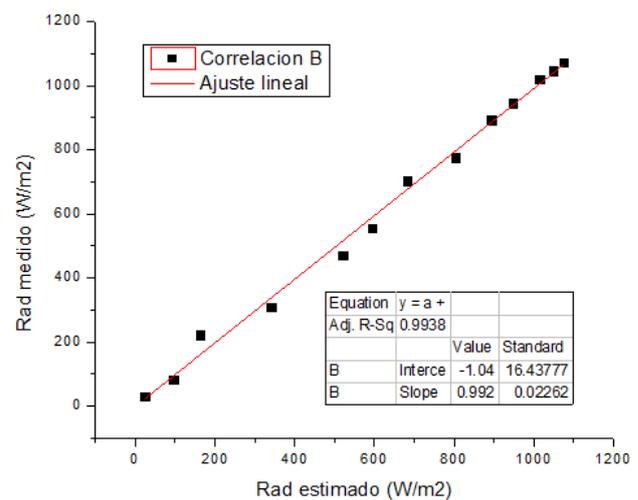


Figura 9
 Correlación de la Rad medido vs estimado de los días 18 de agosto y 30 de setiembre del 2023, para cielos sin nubes



Los valores de los indicadores estadísticos para clasificar el modelo se muestran en la siguiente Tabla 1.

De la Tabla 1, el indicador MBE indica que el modelo sobreestima las mediciones en un 7 %,

mientras que el indicador MABE ajusta el modelo a un 7,2 %, finalmente el indicador estadístico RMSE ajusta el modelo a un porcentaje de precisión del 8,4 %, estos indicadores clasifican al modelo como excelente, para los 2013 datos de los 183 días, de cielos sin presencia de nubes, durante el periodo de estudio (Mao, 2013; Yanfeng, 2017).

Tabla 1

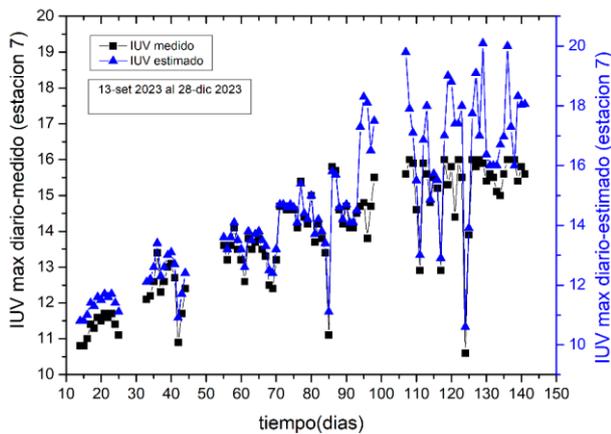
Indicadores estadísticos de la Rad para cielos sin presencia de nubes durante el periodo de estudio 2022 y 2023

Días	Datos	MBE (%)	MABE (%)	RMSE (%)	R ²
183	2013	7,1	7,2	8.4	0.99

La siguiente figura 10 muestra el comportamiento del IUV max diario y la estimación del IUV, según el modelo de Lindfors que utiliza valores medidos de la Rad.

Figura 10

Correlación del IUV estimado y medido la Rad medido vs estimado set-dic del 2023



Estas estimaciones muestran un incremento del IUVmax diario a valores de 19, para la estación de verano, por otra parte, Senamhi también estima valores similares. Estos valores muy altos del IUV, son muy nocivos para la salud de la población, que conllevan a enfermedades como, el cáncer de piel, cataratas, etc.

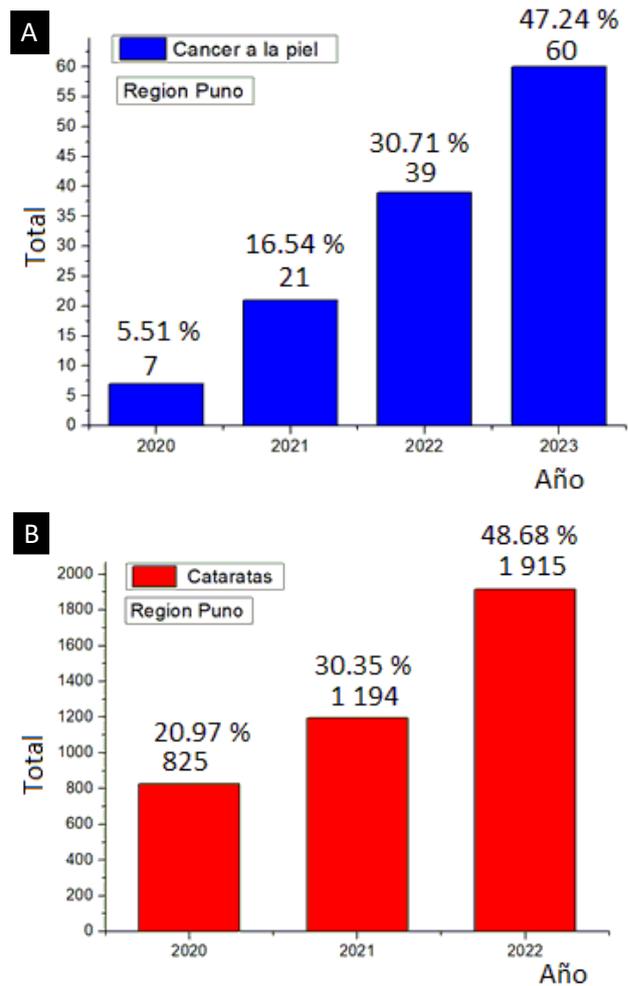
La siguiente figura 11 muestra la evolución de casos de cáncer de piel y las cataratas oculares.

Según la Dirección Regional de Salud Puno, los casos clínicos de cáncer de piel desde los años 2020, al 2023 fueron 7, 21, 39 y 60 respectivamente, es decir, por cada año hay un incremento anual de

18 casos. Los casos oculares, como cataratas, desde los años 2020 al 2022 fueron 825, 1194 y 1915, el incremento anual es de 545 pacientes. Se atribuye este incremento principalmente a la radiación ultravioleta, pero no se descarta otros factores, como la demografía, dieta y factores hereditarios.

Figura 11

A. Incremento anual del cáncer de piel; B. incremento de cataratas



Fuente: DIRESA oficio, 2023-Region Puno

Conclusiones

El modelo SBDART, explica la relación inversa entre la Rad y los aerosoles presentes en la atmósfera del lugar, mientras que muestra una relación directa con el albedo del lugar, en cuanto a los promedios diario de la Rad y el IUV se muestra una relación directa, ambos tienen un comportamiento cíclico, alcanzando sus valores máximos en el verano y los valores mínimos en el invierno.

Las estimaciones de la Rad con el modelo, muestran un compromiso muy aceptable con las mediciones, obteniendo un coeficiente de correlación de 0,99 para los 183 días de cielos sin presencia de nubes, los indicadores estadísticos que se indican en la metodología, clasifican al modelo como muy bueno.

Utilizando el modelo de Lindfors, se ha estimado los valores del IUV max diario, alcanzando valores de 19 durante el periodo estudio, en los meses diciembre-enero, estimaciones similares de valores se reportan en el Senamhi región Puno, se espera un incremento mayor del IUVmax diario en el mes de febrero, siendo valores extremadamente altos según la OMS y son muy nocivos para la salud de la población. Esto se puede evidenciar con el reporte de casos clínicos de la dirección regional de salud, notándose un incremento en cáncer de piel y problemas oculares como cataratas, no se descarta otros factores como la demografía, dieta y factores hereditarios.

Contribución de los autores

Conceptualización, M. Huillca A. (40%), J. C. Vilca T. (30%), P. A. Ginez C. (20%) y E. Velarde C. (10%); Curación de datos, M. Huillca A. (30%), J. C. Vilca T. (30%), P. A. Ginez C. (20%) y E. Velarde C. (20%); Análisis formal, M. Huillca A. (40%), J. C. Vilca T. (30%), P. A. Ginez C. (20%) y E. Velarde C. (10%); Adquisición de fondos, M. Huillca A. (20%), J. C. Vilca T. (20%), P. A. Ginez C. (40%) y E. Velarde C. (20%); Investigación, M. Huillca A. (40%), J. C. Vilca T. (30%), P. A. Ginez C. (20%) y E. Velarde C. (10%); Metodología, J. C. Vilca T. (40%), M. Huillca A. (30%), P. A. Ginez C. (20%) y E. Velarde C. (10%); Administración del proyecto, J. C. Vilca T. (40%), M. Huillca A. (30%), P. A. Ginez C. (20%) y E. Velarde C. (10%); Recursos, M. Huillca A. (40%), J. C. Vilca T. (30%), P. A. Ginez C. (20%) y E. Velarde C. (10%); Software, P. A. Ginez C. (30%), J. C. Vilca T. (30%), M. Huillca A. (20%) y E. Velarde C. (20%); Supervisión, J. C. Vilca T. (40%), M. Huillca A. (30%), P. A. Ginez C. (10%) y E. Velarde C. (20%); Validación, M. Huillca A. (40%), J. C. Vilca T. (30%), P. A. Ginez C. (20%) y E. Velarde C. (10%); Visualización, M. Huillca A. (30%), J. C. Vilca T. (30%), P. A. Ginez C. (30%) y E. Velarde C. (10%); Redacción—borrador original, M. Huillca A. (50%), J. C. Vilca T. (20%), P. A.

Ginez C. (20%) y E. Velarde C. (10%); Redacción—revisión y edición, M. Huillca A. (30%), J. C. Vilca T. (30%), P. A. Ginez C. (10%) y E. Velarde C. (30%). Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Declaración de conflicto de Intereses

El (los) autor(es) afirman que, durante la investigación, no ha habido ningún interés personal, profesional ni económico que haya podido influir en su juicio o en las acciones tomadas al desarrollar y publicar este artículo.

Referencias

- Allen, T. (2008). Photocatalytic Titania Based Surfaces: Environmental Benefits. *Polymer Degradation and Stability*, 93(9), 1632-1646. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2008.04.015>
- Badarinath, K. V. S. (2008). Influence of Natural and Anthropogenic Activities on UV Index Variations—A Study over Tropical Urban Region Using Ground Based Observations and Satellite Data. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 59(3), 219-236. <https://doi.org/10.1007/s10874-008-9103-4>
- Bilbao, J., & Miguel, A. (2013). Contribution to the Study of UV-B Solar Radiation in Central Spain. *Renewable Energy*, 53, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.055>
- Cañada, J. (2008). Study of Erythematous, UV (A+B) and Glob. *International Journal of Climatology*, 2029, 2011-2029. <https://doi.org/10.1002/joc.1569>
- Carrión-Chamba, J. (2022). A Review of the State-of-the-Art of Solar Thermal Collectors Applied in the Industry. *Ingenius*, 2022(27), 59-73. <https://doi.org/10.17163/ings.n27.2022.06>
- De Miguel, A., Bilbao, J., Román, R., & Mateos, D. (2012). Measurements and attenuation of erythematous radiation in Central Spain. *International Journal of Climatology*, 32, 929-940. <https://doi.org/10.1002/joc.2319>

- Dedios Mimbela, N. J. (2016). Radiación Ultravioleta. Análisis de Su Comportamiento Estacional En Diferentes Sectores de La Región Piura. Costa Norte Del Perú. *Ingenierías USBMed*, 7(1), 26-30. <https://doi.org/10.21500/20275846.2020>
- Fioletov, V. (2009). On the Relationship between Erythema and Vitamin D Action Spectrum Weighted Ultraviolet Radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 95(1), 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2008.11.014>
- Foyo, I. (1998). Ground Based Ultraviolet (290-385 Nm) and Broadband Solar Radiation Measurements in South-Eastern Spain. *International Journal of Climatology*, 18(12), 1389-1400. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199810\)18:12<1389::AID-JOC318>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199810)18:12<1389::AID-JOC318>3.0.CO;2-N)
- Gallagher, J. (2006). Adverse Effects of Ultraviolet Radiation: A Brief Review. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 92(1), 119-131. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.02.011>
- Huaman, C. W. T., Mendoza Mamani, E. G., Gallegos Ramos, J. R., Flores Laime, H. H., Mamani, V. E., Huanca Suaquita, J. R., & Huillca Arbieto, M. (2023). App to Estimate the Ultraviolet Index in Real Time in the Region of Puno, Peru. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.665>
- Huillca Arbieto, M. (2023). *Estimación Del Índice de Irradiación Solar Ultravioleta En La Ciudad de Puno* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/20770/Huillca_Arbieto_Matias.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jacquet, S. (2003). Effects of Ultraviolet Radiation on Marine Virus-Phytoplankton Interactions. *FEMS Microbiology Ecology*, 44(3), 279-289. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(03\)00075-8](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(03)00075-8)
- Johnson, C. (1996). Analysis of Test Methods for UV Durability Predictions of Polymer Coatings. *Progress in Organic Coatings*, 27(1-4), 95-106. [https://doi.org/10.1016/0300-9440\(94\)00525-7](https://doi.org/10.1016/0300-9440(94)00525-7)
- Kunz, P. (2006). Plant Responses to UV Radiation and Links to Pathogen Resistance. *International Review of Cytology*, 255, 1-40. [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(06\)55001-6](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(06)55001-6)
- Li, J. (2010). A Meta-Analysis of the Responses of Woody and Herbaceous Plants to Elevated Ultraviolet-B Radiation. *Acta Oecologica*, 36(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2009.09.002>
- Liu, Z. (2002). Effect of Carbon Black on UV Stability of LLDPE Films under Artificial Weathering Conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 75(3), 485-499. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00252-X](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00252-X)
- Mao, X. (2013). General Models for Estimating Daily Global Solar Radiation for Different Solar Radiation Zones in Mainland China. *Energy Conversion and Management*, 70, 139-148. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.03.004>
- Martinez, A. (1996). Measurement and Analysis of Ultraviolet Solar. *International Journal*, 16, 947-955. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199608\)16:8<947::AID-JOC55>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199608)16:8<947::AID-JOC55>3.0.CO;2-O)
- Pahkala, K. (2003). Effects of Ultraviolet-B Radiation on Behaviour and Growth of Three Species of Amphibian Larvae. *Chemosphere*, 51(3), 197-204. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00813-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00813-5)
- Paoletti, E. (2005). UV-B and Mediterranean Forest Species: Direct Effects and Ecological Consequences. *Environmental Pollution*, 137(3), 372-379. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.01.028>
- Paul, D., & Ricchiazzi, P. (1988). SB DART: A Research and Teaching Software Tool for Plane-Parallel Radiative Transfer in the

- Earth's Atmosphere. *American Meteorological Society*, 79, 2101-2114. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<2101:SARATS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<2101:SARATS>2.0.CO;2)
- Pribullová, L. (2008). Typical Distribution of the Solar Erythemal UV Radiation over Slovakia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(17), 5393-5401. <https://doi.org/10.5194/acp-8-5393-2008>
- Quispe, L., & Sotomayor, G. (2022). Determinación y Análisis Temporal de La Radiación Solar En El Altiplano de Puno. *Revista Chilena de Ingeniería*, 30, 69-81. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052022000100069>
- Rozema, J., Björn, L. O., Bornman, J. F., Gaberšček, A., Häder, D. P., Trošt, T., & Germ, M. et al. (2002). The Role of UV-B Radiation in Aquatic and Terrestrial Ecosystems-An Experimental and Functional Analysis of the Evolution of UV-Absorbing Compounds. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 66(1), 2-12. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(01\)00269-X](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(01)00269-X)
- Santos, J. (2011). Analysis and Cloudiness Influence on UV Total Irradiation. *International Journal of Climatology*, 31(3), 451-460. <https://doi.org/10.1002/joc.2072>
- Serrano, A. (2006). Daily and Annual Variations of Erythemal Ultraviolet Radiation in Southwestern Spain. *Annales Geophysicae*, 24(2), 427-441. <https://doi.org/10.5194/angeo-24-427-2006>
- Sinha, R. (2002). Life under Solar UV Radiation in Aquatic Organisms. *Advances in Space Research*, 30(6), 1547-1556. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(02\)00370-8](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(02)00370-8)
- Sweet, M. (2012). Evidence of Melanoma in Wild Marine Fish Populations. *PLoS ONE*, 7(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041989>
- Varo Martínez, M. M. (2006). *Modelización de La Radiación Ultravioleta Solar* [Doctoral, Universidad de Córdoba]. <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/283/13918643.pdf>
- Verbeek, P. (2011). Degradation as a Result of UV Radiation of Bloodmeal-Based Thermoplastics. *Polymer Degradation and Stability*, 96(4), 515-522. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.01.003>
- Wang, Y. (2014). UV Variability in an Arid Region of Northwest China from Measurements and Reconstructions. *International Journal of Climatology*, 35(8), 1938-1947. <https://doi.org/10.1002/joc.4099>
- Yanfeng, S. (2017). Classification of Solar Radiation Zones and General Models for Estimating the Daily Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces in China. *Energy Conversion and Management*, 154, 168-179. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.043>

