

Estimation of solar radiation by models dependent on extreme temperatures for the region of Puno, Peru

Ciro William Taipe Huaman¹, Eva Genoveva Mendoza Mamani², Julio Rumualdo Gallegos Ramos¹, Hugo Hernan Flores Laime³, Vitaliano Enriquez Mamani¹

¹Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe, jgallegos@unaj.edu.pe, v.enriquezm@unaj.edu.pe

²Universidad Nacional del Altiplano, Perú, emendoza@unap.edu.pe

³Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Perú, hugo.flores@uniq.edu.pe

Abstract– The objective of this research was to identify a model to estimate solar radiation for the Puno region based on extreme temperatures. For which seven models have been considered to estimate global solar radiation, to make the adjustments of the models, data from the 2016-2018 period of the DAVIS meteorological station for the city of Puno were considered, where the coefficients of the models were adjusted considering 1097 data. To choose the appropriate model, the correlation coefficient between measured and estimated solar radiation data was used. Then, the data measured by SENAMHI for the thirteen provinces of the Puno region have been considered. Concluding, it was possible to identify two models to estimate solar radiation in the Puno region, considering as input variable the difference in extreme temperatures and the latitude of the place, a correlation coefficient of 0.855 was obtained for the measured and estimated solar radiation data. . . . For the estimation of solar radiation in the Puno region, the data on extreme temperatures from SENAMHI for the thirteen provinces have been considered, reaching estimates of solar radiation through the regression model of order four.

Keywords-- Ambient temperature, empirical models, solar radiation, statistical analysis

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.377>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Estimación de la radiación solar por modelos dependientes de temperatura extremas para la región de Puno, Perú

Ciro William Taipe Huaman¹, Eva Genoveva Mendoza Mamani², Julio Rumualdo Gallegos Ramos¹, Hugo Hernan Flores Laime³, Vitaliano Enriquez Mamani¹

¹Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe, j.gallegos@unaj.edu.pe, v.enriquezm@unaj.edu.pe

²Universidad Nacional del Altiplano, Perú, emendoza@unap.edu.pe

³Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Perú, hugo.flores@uniq.edu.pe

Abstract– *The objective of this research was to identify a model to estimate solar radiation for the Puno region based on extreme temperatures. For which seven models have been considered to estimate global solar radiation, to make the adjustments of the models, data from the 2016-2018 period of the DAVIS meteorological station for the city of Puno were considered, where the coefficients of the models were adjusted considering 1097 data. To choose the appropriate model, the correlation coefficient between measured and estimated solar radiation data was used. Then, the data measured by SENAMHI for the thirteen provinces of the Puno region have been considered. Concluding, it was possible to identify two models to estimate solar radiation in the Puno region, considering as input variable the difference in extreme temperatures and the latitude of the place, a correlation coefficient of 0.855 was obtained for the measured and estimated solar radiation data. . . . For the estimation of solar radiation in the Puno region, the data on extreme temperatures from SENAMHI for the thirteen provinces have been considered, reaching estimates of solar radiation through the regression model of order four.*

Keywords-- Ambient temperature, empirical models, solar radiation, statistical analysis

Resumen– *El objetivo de esta investigación fue identificar un modelo para estimar la radiación solar para la región de Puno en base a temperaturas extremas. Para lo cual se han considerado siete modelos para estimar la radiación solar global, para realizar los ajustes de los modelos se consideraron datos del periodo 2016-2018 de la estación meteorológica DAVIS para la ciudad de Puno, donde se ajustaron los coeficientes de los modelos considerando 1097 datos. Para elegir el modelo apropiado, se utilizó el coeficiente de correlación entre los datos de radiación solar medidos y estimados. Luego, se han considerado los datos medidos por SENAMHI para las trece provincias de la región Puno. Concluyendo, se logró identificar dos modelos para estimar la radiación solar en la región Puno, considerando como variable de entrada la diferencia de temperaturas extremas y la latitud del lugar, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.855 para los datos de radiación solar medida y estimada. Para la estimación de la radiación solar en la región Puno se han considerado los datos de temperaturas extremas del SENAMHI para las trece provincias, llegando a estimaciones de radiación solar a través del modelo de regresión de orden cuatro.*

Palabras claves-- Temperatura ambiente, modelos empíricos, radiación solar, análisis estadístico.

I. INTRODUCCIÓN

El consumo de energía está aumentando rápidamente debido al rápido desarrollo tecnológico. Para satisfacer la demanda de energía al ritmo actual, los combustibles fósiles por sí solos no pueden ser fiables debido a sus limitadas reservas y al impacto perjudicial que tienen en el medio ambiente [1].

Los datos de las mediciones de la radiación solar son de importancia para muchas aplicaciones basadas en la energía solar [2]. Aunque se puede implementar instrumentación adecuada que pueda medir con precisión la radiación solar, ésta no está presente en muchos lugares del Perú.

Existen numerosos modelos de estimación de radiación solar basadas en humedad relativa [3]–[5], en la cobertura de nubes en el cielo [3], [6], [7], basados en la posición del sol [3], [8], [9], de las temperaturas extremas [1], [3], [10], redes neuronales artificiales [11]–[13], dependientes de ajuste estadísticos [14]–[16] y procesamiento de imágenes satelitales [17], [18], en este trabajo analizamos modelos para estimar la radiación solar global en función a la diferencia de temperaturas extremas.

Investigaciones que utilizan las temperaturas extremas del aire para calcular la radiación solar son: [19] presenta un enfoque para generar muestras largas de predicción diaria de , temperaturas máximas y mínimas, así como de radiación solar, la predicción lo realiza mediante el uso un modelo exponencial llamado cadena de Markov. [20] estiman la relación entre la transmitancia atmosférica y la diferencia de temperatura máximo y mínimos diario del aire, cuyo modelo puede estimar entre el 70% y el 90% de variación de la radiación solar. [21] presentan métodos para estimar la radiación solar a partir de la diferencia entre la temperaturas máximas y mínimas, porcentaje de posible insolación y de la humedad relativa. [22] plantea modelos basados en regresión para estimar la radiación solar global, para 34 estaciones meteorológicas que están proporcionando radiación solar. [23] desarrollara modelos para predecir la radiación solar global diario para lugares donde existe un enorme potencial de radiación, planteando modelos exponenciales, modelos exponenciales modificados, modelos de series de potencia dependientes de la diferencia de temperaturas extremas del

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.377>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

aire del lugar. [24] realiza la evaluación de precisión e idoneidad de once modelos de tres categorías diferentes, para la estimación de radiación solar en Irán, para lo cual utiliza datos de 23 estaciones meteorológicas en Irán, concluyendo que el modelo de regresión cubico fue uno con mejor rendimiento. [1] presenta modelos de radiación solar global basados en la diferencia de temperaturas extremas del ambiente diario promedio mensual y los calibra para su aplicación en todo el país de la India utilizando mediciones de radiación solar obtenidas del Departamento Meteorológico de la India para 22 lugares de la India durante un período de 15 años (1986-2000) obteniendo como resultado que uno de los modelos con mejor precisión fue la de regresión de polinomial de grado cuatro. [25] propone un nuevo modelo basado en el método de Hargreaves y Samani (HS) para la estimación de la radiación solar global diaria promedio mensual. [26] presenta una relación entre la radiación solar y la temperatura en Perlis, en el norte de Malasia, para el año 2006 para predecir la radiación solar. [27] establece modelos generalizados para la estimación de la radiación solar difusa media mensual sobre la India, considerando cuatro categorías de modelos de entrada única racionalizando el componente difuso que correlacionó la fracción difusa, el coeficiente difuso con el período relativo de insolación y el índice de claridad, considerando 52 modelos.

La incidencia de radiación solar varía con referencia a la ubicación geométrica por ello es necesario desarrollar los modelos para predecir la radiación solar global diaria, para los lugares donde hay un enorme potencial de radiación solar y para mejorar la utilización de la energía. Este trabajo tuvo como objetivo identificar un modelo de estimación de la radiación solar global para la región de Puno en función a temperaturas extremas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Recopilación de datos

Se obtuvieron datos de temperaturas extremas del medio ambiente y radiación solar diarias medidos por la estación meteorológica de DAVIS VANTAGE PRO 2 PLUS el cual cuenta con sensor de temperatura y un sensor de radiación solar (Pirómetro) en unidades de w/m^2 , de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Nacional del Altiplano, el cual está ubicado en latitud -15.489063 longitud -70.151594 y a una altitud de 3825m sobre el nivel del mar, el registro de datos considerados fue el periodo 2016-2018 el cual cuenta con certificado de calibración, el cual se muestra en la fig. 1.



Fig. 1 Estación meteorológica DAVIS, Puno

Para obtener datos para la región de Puno, se ha considerado las mediciones realizadas por la institución Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). En la región de Puno cuenta con 30 puntos de monitoreo. En la investigación se ha considerado un punto por cada provincia, considerando 13 estaciones meteorológicas cuyos datos se muestran en la tabla I, de estas sean considerado las mediciones de temperaturas extremas por día.

TABLA I
ESTACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA REGIÓN DE PUNO

Nº	Provincia	Estación	Latitud	Longitud
1	Azángaro	Azángaro	-14.917194	-70.190472
2	Carabaya	Crucero	-14.364194	-70.025917
3	Chucuito	Juli	-16.203720	-69.460039
4	El Collao	Ilave	-16.059944	-69.640389
5	Huancané	Huancané	-15.206861	-69.758306
6	Lampa	Lampa	-15.361083	-70.374167
7	Melgar	Santa Rosa	-14.617806	-70.792778
8	Moho	Moho	-15.621431	-69.484192
9	Puno	Puno	-15.826250	-70.012083
10	San Antonio de Putina	Putina	-14.921000	-69.875694
11	San Román	Juliaca	-15.444150	-70.207783
12	Sandia	Cuyo Cuyo	-14.488842	-69.550036
13	Yunguyo	Yunguyo	-16.307833	-69.074722

B. Cálculo de la radiación extraterrestre

La radiación extraterrestre (H_o) se define como la cantidad de radiación solar que está presente en el espacio antes de alcanzar la atmósfera de la tierra; en otros términos, la cantidad de radiación solar recibida por la superficie de la tierra en ausencia de atmósfera. Mientras que la radiación solar global (H) es la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la tierra después de la atenuación de la atmósfera.

Por lo tanto, la cantidad media mensual de radiación extraterrestre se obtiene utilizando la siguiente ecuación (1) propuesto por Iqbal [28] dependiente de la latitud del lugar, del ángulo horario y ángulo de declinación.

$$\frac{H_o}{H_o} = \frac{H_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \left(\cos \phi \cos \delta \cos w_s + \sin \phi \sin \delta \right) \quad (1)$$

Donde H_{sc} es la constante solar, la declinación solar (δ) y el ángulo horario solar (w_s) se calculan mediante las ecuaciones (2) y (3) propuestas por Duffie et al [29]:

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360}{365} (284 - n) \right) \quad (2)$$

$$\cos w_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (3)$$

Donde n es el número de día juliano.

C. Modelos basados en las temperaturas extremas

Sea considera siete modelos que se basa en la correlación de la radiación solar global basados en las temperaturas extremas. Para un ajuste de los modelos para la ciudad de Puno, se ha realizado el ajuste de sus coeficientes considerando los datos de la serie 2016 a 2018 medidos por la estación meteorológica DAVIS.

Estos modelos se describen a continuación:

Modelo 1, Richardson [19] realiza un enfoque para generar muestras largas de predicción diaria, temperaturas máximas y mínimas y radiación solar en función de las otras variables mediante el uso de un modelo exponencial de cadena de Markov. La relación viene dada por la ecuación (4).

$$\frac{H}{H_o} = A(\Delta T)^B \quad (4)$$

Modelo 2, Bristow y Campbell [20] desarrolla una relación entre la transmitancia atmosférica y el rango diario de temperatura del aire. Donde A, B y C son coeficientes empíricos determinados para una ubicación particular. La relación viene dada por ecuación (5).

$$\frac{H}{H_o} = A \left(1 - e^{-B\Delta T^C} \right) \quad (5)$$

Modelo 3, Hargreaves y Samani [30], recomienda una ecuación para estimar la radiación solar utilizando la temperatura máxima y mínima de un día, La ecuación considera que la raíz cuadrada de la diferencial de temperaturas máxima y mínima está directamente relacionado con la fracción de radiación extraterrestre recibida a nivel del suelo. La relación viene dada por la ecuación (6).

$$\frac{H}{H_o} = A(\Delta T)^{0.5} \quad (6)$$

Modelo 4, Sarkar y Sifat [22] se basa en la regresión cuadrática para estimar la radiación solar global a partir de la diferencial de temperatura máxima y mínima está directamente relacionado con la fracción de radiación extraterrestre recibida a nivel del suelo. La relación viene dada por ecuación (7).

$$\frac{H}{H_o} = A(\Delta T)^2 + B(\Delta T) + C \quad (7)$$

Modelo 5, Sirva Krishna [23] la razón de H a H_o está relacionada exponencialmente con la raíz cuadrada de la diferencia de temperaturas extremas del aire. La relación viene dada por ecuación (8).

$$\frac{H}{H_o} = A e^{B(\Delta T)^{0.5}}$$

Modelo 6, Jahani et al [24] se basa en la regresión cubica de datos medidos por estaciones meteorológicas de temperaturas extremas y relacionado con la fracción de radiación extraterrestre recibida a nivel del suelo. La relación viene dada por ecuación (9).

$$\frac{H}{H_o} = A + B(\Delta T) + C(\Delta T)^2 + D(\Delta T)^3 \quad (9)$$

Modelo 7, Jamil et al [1] considera un modelo de regresión de orden cuatro para estimar la fracción de radiación extraterrestre recibida a nivel del suelo en relación a la variación de temperaturas extremas. La relación viene dada por la ecuación (10).

$$\frac{H}{H_o} = A(\Delta T)^4 + B(\Delta T)^3 + C(\Delta T)^2 + D(\Delta T) + E \quad (10)$$

D. Coeficientes para modelos

Se realizó un análisis de regresión para obtener los coeficientes para los siete modelos, utilizando el software Origin, en el cual la variable de entrada fue la diferencia de las temperaturas extremas diarias del aire de la ciudad de Puno y la de salida fue la radiación solar media diaria por la estación meteorología, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II.

TABLA II
COEFICIENTES DE LOS MODELOS

Modelo	A	B	C	D	E
1	0.0953	0.7399	--	--	--
2	0.7397	0.0348	1.5846	--	--
3	0.1713	--	--	--	--
4	-0.0029	0.1046	-0.2114	--	--
5	0.1286	0.4418	--	--	--
6	-0.1706	0.0912	-0.0016	-4.3201	--
7	1.6513E-5	-7.6483E-4	0.0096	0.0172	-0.0017

E. Estadísticos de evaluación

Se ha utilizado la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE), el error medio (MBE), llamado también sesgo o desviación, coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación (r) es para medir la relación lineal entre los valores medidos por la estación con respecto a los obtenidos por los modelos [31]. Están dados por las siguientes ecuaciones:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (R_{mi} - R_{si})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (11)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{mi} - R_{si})}{n} \quad (12)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (R_{mi} - \bar{R}_{mi})(R_{si} - \bar{R}_{si}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (R_{mi} - \bar{R}_{mi})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (R_{si} - \bar{R}_{si})^2 \right]} \quad (13)$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad (14)$$

Donde: R_{mi} es el dato medido por la estación meteorológica, R_{si} es el dato obtenido por modelo, \bar{R}_{mi} es el promedio de los datos medidos por la estación meteorológica, \bar{R}_{si} es el promedio de los datos obtenidos por modelo y n es el número total de observaciones [32].

F. Aplicación desarrollada en MATLAB

Se ha desarrollado una aplicación en el software MATLAB, basado en los siete modelos, con variables de ingreso la diferencia de temperaturas, latitud del lugar y como variable de salida la radiación solar global, el cual se ha utilizado para realizar los calculo con los diferentes modelos, el cual se observa en la figura 2.

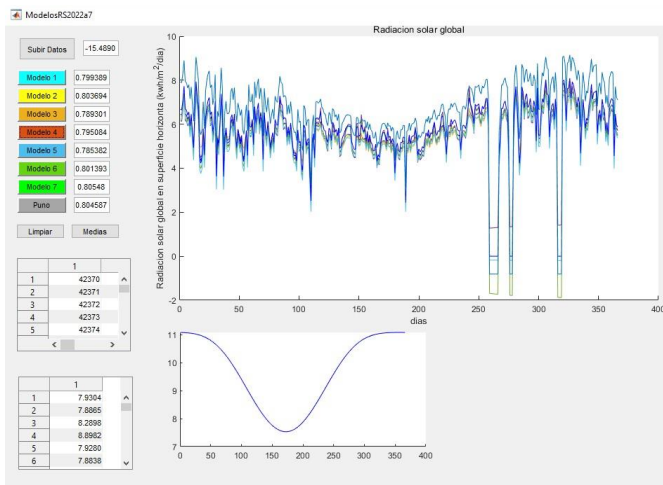


Fig. 2 Aplicación en MATLAB

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se ha realizado el cálculo de la radiación extraterrestre considerando la latitud de la ciudad de Puno latitud -15.489063° el cual se muestra en la figura 3, obteniéndose

como valor máximo de 11.1034kwh/m² día y un valor mínimo de 7.4828kwh/m² día, el comportamiento es cíclico debido la posición de tierra sol [29], [33].

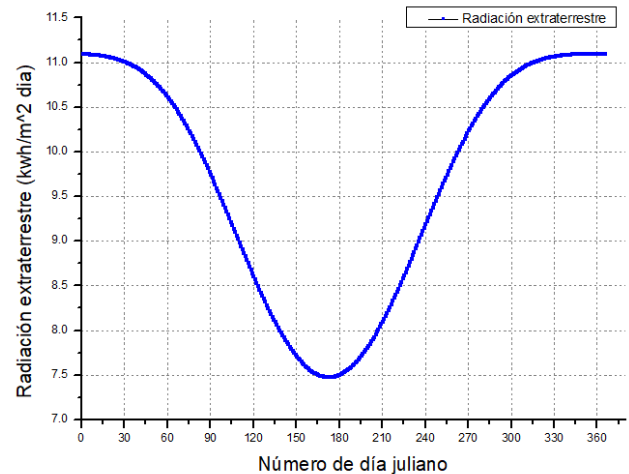


Fig. 3 Radiación extraterrestre para la latitud de la ciudad de Puno

Se ha realizado el análisis estadístico calculando el coeficiente de correlación entre los datos medidos por la estación meteorológica y estimados por los modelos en función a la diferencia de temperaturas extremas el cual se muestra en la tabla III, se observa que el modelo 7 presenta una mayor correlación, esto para 1097 datos del periodo 2016-2018, el mayor error se obtiene con el modelo 5, esta sobre estimación se observa en la figura 4 para el año 2018.

TABLA III
ESTADÍSTICOS DE COMPARACIÓN

Modelo	MBE	RMSE	R ²	R
Modelo 1 Richardson	1.0146	1.0147	0.7246	0.8512
Modelo 2 Bristow y Campbell	1.0016	1.0036	0.7316	0.8553
Modelo 3 Hargreaves y Samani	1.0514	1.0555	0.7042	0.8392
Modelo 4 Sarkar y Sifat	1.0255	1.5923	0.7187	0.8477
Modelo 5 Sirva Krishna	1.0357	1.0793	0.7130	0.8444
Modelo 6 Jahani et al	1.0235	1.0860	0.7198	0.8484
Modelo 7 Jamil et al	1.0013	1.0125	0.7318	0.8554

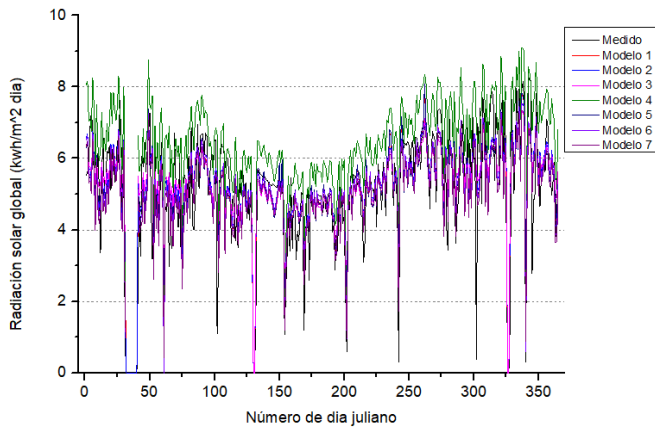
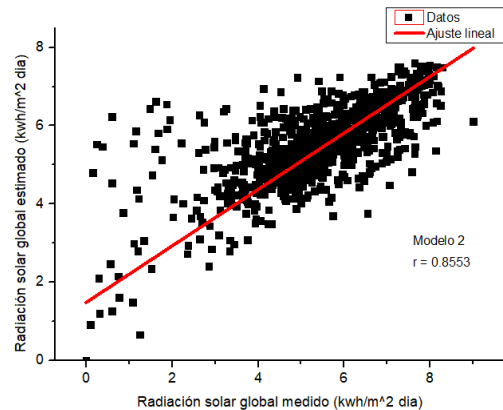
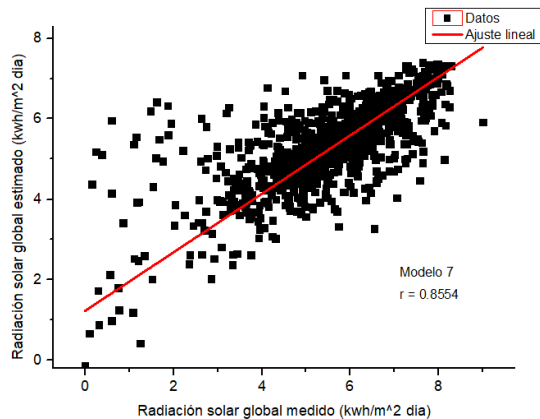


Fig. 4 Estimación de la radiación solar global para el año 2018

Los modelos con la mayor correlación lineal son el modelo 2 y 7 lo que está de acuerdo con el trabajo de [1], la dispersión de los datos así como la correlación lineal de los datos para el periodo 2016-2018 se muestran en las figuras 5. En el cual se observa que el ajuste lineal creciente y la intersección con el eje vertical indica la sobre estimación de los valores estimados por los modelos.



(a)



(b)

Fig. 5 (a) Coeficiente de correlación para el modelo 2 (b) Coeficiente de correlación para el modelo 7

La comparación de los valores estimados por los modelos 2 de Bristow y Campbell [20] y modelo 7 de Jamil et al [1] comparado con el valor medido por la estación meteorológica para el año 2017 se muestra en la figura 6, donde se observa una buena superposición de los valores estimados por modelos sobre los valores medidos, de la radiación solar global diario.

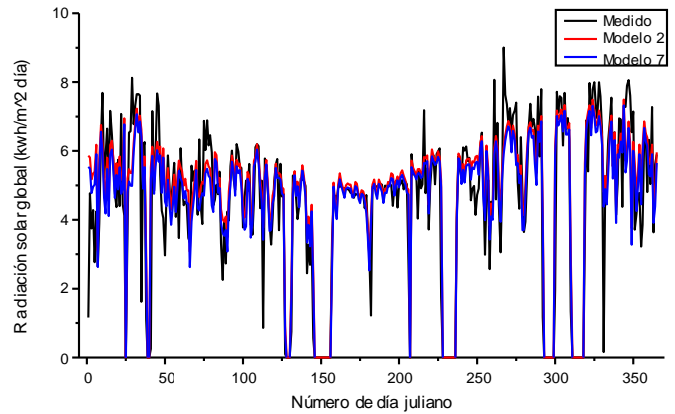


Fig. 6 Estimación de la radiación solar global para el año 2017

Es posible obtener datos de temperatura extremas de la WEB de SHENAMHI Puno [34], para 30 puntos geográficos distribuidos en la región de Puno las cuales son medidas por las estaciones meteorológicas. Para la ciudad de Puno se obtiene datos para el periodo 1964-2012 con lo cual es posible reconstruir la incidencia de la radiación solar global mediante el modelo 7, el cual muestra la mayor correlación lineal tabla II, en la figura 5 se muestra valores estimado por el modelo para el año 1965, en el cual se muestran el comportamiento cíclico de la intensidad de la radiación solar global, con una mayor intensidad para el periodo de verano y menor intensidad para el periodo de invierno.

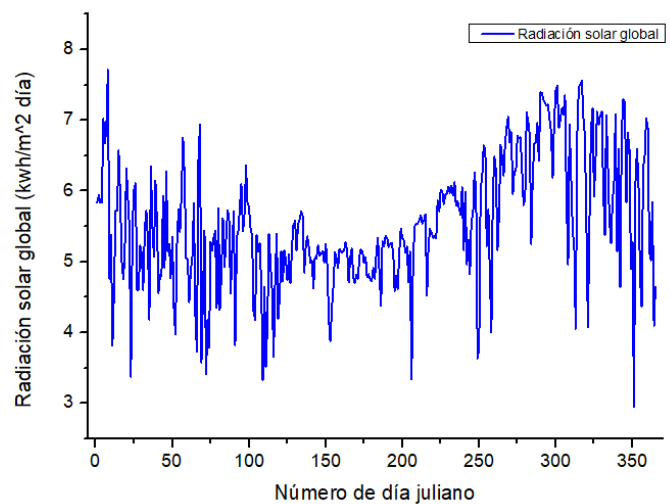


Fig. 7 Estimación de la radiación solar global para el año 1965 por modelo 7

Para realizar el análisis de la radiación solar en la región de Puno será considerado 13 puntos ubicados en las 13 provincias de la región de Puno, considerando la ubicación de estaciones meteorológicas de la institución SENAMHI Tabla I, el cual cuenta con medidas de temperaturas extremas. Utilizando el modelo 7 se realizan el cálculo de radiación solar diario para luego obtener el promedio mensual de radiación solar para las provincias de la región de Puno los cuales se muestran en la figura 8. El año considerado para el análisis fue 2020, donde se observa que los valores promedio están en el rango de 5 a 8kwh/m².

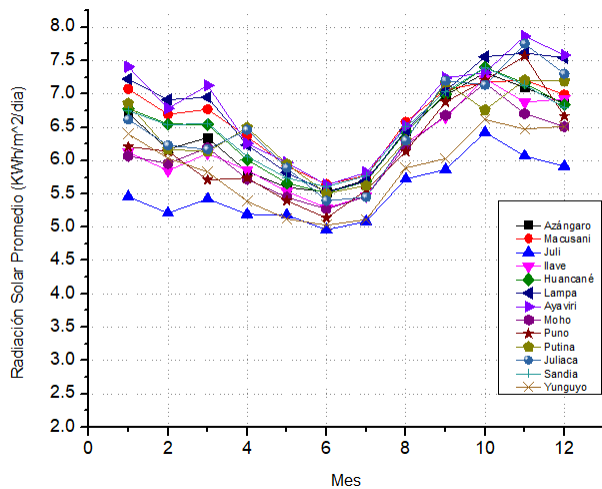


Figura 1. Promedios mensuales de la radiación solar en las provincias de región Puno.

IV. CONCLUSIONES

Se logró identificar dos modelos para estimar la radiación solar en la región Puno, considerando como variable de entrada la diferencia de temperaturas extremas y la latitud del lugar, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.855 para los datos de radiación solar medidos y estimados para la ciudad de Puno considerando el periodo 2016-2018. Para la estimación de la radiación solar en la región Puno se han considerado los datos de temperaturas extremas de SENAMHI para las trece provincias, llegando a estimaciones de radiación solar a través del modelo de regresión de orden cuatro.

AGRADECIMIENTOS

La institución Universidad Nacional del Altiplano en específico a la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas, por facilitarme los datos de las estaciones meteorológicas DEIVIS del periodo 2016-2018. Y la institución SENAMHI por los datos de su WEB del periodo 1964-2020.

REFERENCIAS

- [1] B. Jamil, K. Irshad, A. Algahtani, S. Islam, M. A. Ali, and A. Shahab, "On the calibration and applicability of global solar radiation models based on temperature extremities in India," *Environ. Prog. Sustain. Energy*, vol. 39, no. 1, pp. 1–13, 2020.
- [2] M. M. Khan, M. J. Ahmad, and B. Jamil, "Development of models for the estimation of global solar radiation over selected stations in India," *Green Energy Technol.*, vol. PartF2, pp. 149–160, 2016.
- [3] A. A. Adeala, Z. Huan, and C. C. Enweremadu, "Evaluation of global solar radiation using multiple weather parameters as predictors for South Africa provinces," *Therm. Sci.*, vol. 19, pp. S495–S509, 2015.
- [4] O. T. Kolebaje, A. Ikusika, and P. Akinyemi, "Estimating solar radiation in ikeja and port harcourt via correlation with relative humidity and temperature," *Int. J. Energy Prod. Manag.*, vol. 1, no. 3, pp. 253–262, 2016.
- [5] A. Muhammad and T. . . Darma, "Estimation of Global Solar Radiation for Kano State Nigeria Based on Meteorological Data," *IOSR J. Appl. Phys.*, vol. 6, no. 6, pp. 19–23, 2014.
- [6] S. Olayinka, "Estimation of global and diffuse solar radiations for selected cities in Nigeria," *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 13–33, 2011.
- [7] M. S. Okundamiya, J. O. Emagbetere, and E. A. Ogujor, "Evaluation of various global solar radiation models for Nigeria," *Int. J. Green Energy*, vol. 13, no. 5, pp. 505–512, 2016.
- [8] K. Gairaa and Y. Bakelli, "A Comparative Study of Some Regression Models to Estimate the Global Solar Radiation on a Horizontal Surface from Sunshine Duration and Meteorological Parameters for Ghardaïa Site, Algeria," *ISRN Renew. Energy*, vol. 2013, pp. 1–11, 2013.
- [9] Mulandzi ST, Sankarau V, and Lysko MD, "Solar radiation analysis and regression coefficients for the Vhembe Region, Limpopo Province, South Africa," *J. Energy South. Africa*, vol. 24, no. 3, pp. 02–07, 2013.
- [10] J. Fan *et al.*, "Comparison of Support Vector Machine and Extreme Gradient Boosting for predicting daily global solar radiation using temperature and precipitation in humid subtropical climates: A case study in China," *Energy Convers. Manag.*, vol. 164, no. January, pp. 102–111, 2018.
- [11] J. L. Bosch, G. López-Rodríguez, F. J. Batlles, and J. Tovar-Pescador, "Modelado de la Radiación Solar Global Horaria Sobre Superficie Inclinada Mediante Redes Neuronales Artificiales," *Asoc. Meteorológica Española*, no. 29, 2006.
- [12] F. Rodríguez, A. Fleetwood, A. Galarza, and L. Fontán, "Predicting solar energy generation through artificial neural networks using weather forecasts for microgrid control," *Renew. Energy*, vol. 126, pp. 855–864, 2018.
- [13] A. H. Elsheikh, S. W. Sharshir, M. Abd Elaziz, A. E. Kabeel, W. Guilan, and Z. Haiou, "Modeling of solar energy systems using artificial neural network: A comprehensive review," *Sol. Energy*, vol. 180, no. October 2018, pp. 622–639, 2019.
- [14] P. Paredes and L. S. Pereira, "Computing FAO56 reference grass evapotranspiration PM-ET o from temperature with focus on solar radiation," *Agric. Water Manag.*, vol. 215, no. December 2018, pp. 86–102, 2019.
- [15] B. Jamil and N. Akhtar, "Comparative analysis of diffuse solar radiation models based on sky-clearness index and sunshine period for humid-subtropical climatic region of India: A case study," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 78, no. April, pp. 329–355, 2017.
- [16] V. A. Jimenez, A. Barrionuevo, A. Will, and S. Rodríguez, "Neural Network for Estimating Daily Global Solar Radiation Using Temperature, Humidity and Pressure as Unique Climatic Input Variables," *Smart Grid Renew. Energy*, vol. 07, no. 03, pp. 94–103, 2016.
- [17] L. Mazorra Aguiar, J. Polo, J. M. Vindel, and A. Oliver, "Analysis of satellite derived solar irradiance in islands with site adaptation techniques for improving the uncertainty," *Renew. Energy*, vol. 135, pp. 98–107, 2019.
- [18] L. Comejo-Bueno, C. Casanova-Mateo, J. Sanz-Justo, and S. Salcedo-Sanz, "Machine learning regressors for solar radiation estimation from satellite data," *Sol. Energy*, vol. 183, no. December 2018, pp. 768–775, 2019.
- [19] C. W. Richardson, "Stochastic simulation of daily precipitation,

- temperature, and solar radiation,” *Water Resour. Res.*, vol. 17, no. 1, pp. 182–190, 1981.
- [20] K. Bristow and G. S. Campbell, “On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 31, no. 0427, pp. 159–166, 1984.
- [21] G. H. Hargreaves and Z. A. Samani, “Estimating Potential Evapotranspiration,” *J. Irrig. Drain. Div.*, vol. 108, no. 3, pp. 225–230, Sep. 1982.
- [22] M. N. I. Sarkar and A. I. Sifat, “Global solar radiation estimation from commonly available meteorological data for Bangladesh,” *Renewables Wind. Water, Sol.*, vol. 3, no. 1, 2016.
- [23] D. V. Siva Krishna Rao K, M. Premalatha, and C. Naveen, “Models for forecasting monthly mean daily global solar radiation from in-situ measurements: Application in Tropical Climate, India,” *Urban Clim.*, vol. 24, no. November, pp. 921–939, 2018.
- [24] B. Jahani, Y. Dinpashoh, and A. Raisi Nafchi, “Evaluation and development of empirical models for estimating daily solar radiation,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, no. January, pp. 878–891, 2017.
- [25] H. Li, F. Cao, X. Wang, and W. Ma, “A temperature-based model for estimating monthly average daily global solar radiation in China,” *Sci. World J.*, vol. 2014, 2014.
- [26] S. Ibrahim, I. Daut, Y. M. Irwan, M. Irwanto, N. Gomesh, and Z. Farhana, “Linear regression model in estimating solar radiation in perlis,” *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 1402–1412, 2012.
- [27] M. Ali, B. Jamil, and Fakhruddin, “Estimating diffuse solar radiation in India: performance characterization of generalized single-input empirical models,” *Urban Clim.*, vol. 27, no. August 2018, pp. 314–350, 2019.
- [28] M. Iqbal, *An introduction to solar radiation*. Academic Press, 1983.
- [29] J. A. Duffie, W. A. Beckman, and N. Blair, *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*, Quinta. Canada, 2020.
- [30] G. H. Hargreaves and Z. A. Samani, “Reference Crop Evapotranspiration From Ambient Air Temperature.,” *Pap. - Am. Soc. Agric. Eng.*, pp. 96–99, 1985.
- [31] M. Blal *et al.*, “A prediction models for estimating global solar radiation and evaluation meteorological effect on solar radiation potential under several weather conditions at the surface of Adrar environment,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 152, p. 107348, 2020.
- [32] H. Tabari, “Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates,” *Water Resour. Manag.*, vol. 24, no. 10, pp. 2311–2337, 2010.
- [33] M. Huilca and C. W. Taipe, “Estimación y análisis del índice ultravioleta en la ciudad de Puno durante el periodo de setiembre del 2015 a setiembre del 2016,” *Ñawparisun - Rev. Investig. Científica*, vol. 1, no. 1, Dec. 2018.
- [34] SENAMHI, “SENAMHI - Puno,” 2021. [Online]. Available: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=puno&p=pronostico-meteorologico>. [Accessed: 04-Jan-2021].