

Analysis of temperature, atmospheric pressure, relative humidity, global solar irradiation and ultraviolet index

Matias Huillca Arbieto¹, Ciro William Taipe Huaman², Eva Genoveva Mendoza Mamani³

^{1,3}Universidad Nacional del Altiplano, Perú, mhuillca@unap.edu.pe, emendoza@unap.edu.pe

²Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe

Abstract– The objective of this study is to analyze Analysis of temperature, atmospheric pressure, relative humidity, global solar irradiation and ultraviolet index. For this purpose, atmospheric data corresponding to the years 2023 and 2024 were examined. The study site was the National University of Altiplano, located in the city of Puno. For the analysis of the data, measurements obtained from the DAVIS Vantage PRO 2.0 Plus meteorological station were used, which covered variables such as temperature, atmospheric pressure, relative humidity, global solar irradiation and ultraviolet index. Regarding the statistical analysis, the mean absolute error and the correlation coefficient were applied between the measured data and those estimated by the polynomial model adjusted by nonlinear regression. The results indicate that the best-fitting model is a third-degree polynomial, with the following correlations: 0.996 for global solar irradiation, 0.997 for UVI, 0.995 for temperature, 0.995 for relative humidity, and 0.998 for pressure, highlighting a strong relationship between meteorological variables and global solar irradiation.

Keywords-- Relative humidity, ultraviolet index, atmospheric pressure, solar radiation, temperature.

Análisis de la temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, irradiación solar global e índice ultravioleta

Matias Huilca Arbieto¹,^{ORCID} ,
Ciro William Taipe Huaman²,^{ORCID} ,
Eva Genoveva Mendoza Mamani³,^{ORCID}

^{1,3}Universidad Nacional del Altiplano, Perú, mhuilca@unap.edu.pe, emendoza@unap.edu.pe

²Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe

Resumen— El objetivo de este estudio es analizar análisis de la temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, irradiación solar global e índice ultravioleta. Para ello, se examinaron datos atmosféricos correspondientes a los años 2023 y 2024. El lugar de estudio fue la Universidad Nacional del Altiplano, ubicada en la ciudad de Puno. Para el análisis de los datos, se utilizaron las mediciones obtenidas de la estación meteorológica DAVIS Vantage PRO 2.0 Plus, que abarcó variables como temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, irradiación solar global e índice ultravioleta. En cuanto al análisis estadístico, se aplicaron el error medio absoluto y el coeficiente de correlación entre los datos medidos y los estimados por el modelo polinomial ajustado mediante regresión no lineal. Los resultados indican que el modelo de mejor ajuste es un polinomio de tercer grado, con las siguientes correlaciones: 0.996 para la irradiación solar global, 0.997 para el IUV, 0.995 para la temperatura, 0.995 para la humedad relativa y 0.998 para la presión, lo que resalta una fuerte relación entre las variables meteorológicas y la irradiación solar global.

Palabras clave— Humedad relativa, índice ultravioleta, presión atmosférica, radiación solar, temperatura.

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 detalladas de la radiación solar son de importancia para muchas aplicaciones relacionados con hidrología, meteorología, agricultura y energías renovables [2], [3]. Aunque se puede implementar instrumentación adecuada que pueda medir con precisión la radiación solar, ésta no está presente en muchos lugares del Perú.

La irradiación solar que proviene del Sol interactúa con la atmosfera terrestre con procesos físicos, como dispersión y absorción, usualmente la irradiación es medida en la superficie de la Tierra Este recurso natural como fuente de energía es un factor importante para el desarrollo del ecosistema y la biodiversidad. Se cuantifica por medio de la irradiación solar global (Rad), es una magnitud que representa la cantidad de energía electromagnética incidente por unidad de superficie por unidad de tiempo. En la actualidad se consideran dos medidas adoptadas para la constante solar, uno de ellos realizadas por la NASA, en el periodo 1968-1971, esta medida se realizó de diferentes formas, por ejemplo, desde un avión volando a gran altura para atenuar los efectos atmosféricos, y por otro lado el

World Radiation Center (WRC) en Davos (Suiza) realizo las medidas. Ambas difieren en sus resultados; el valor obtenido por la NASA fue $1353W/m^2$, frente al de $1395W/m^2$ obtenido por el WRC, actualmente el ultimo valor es el más aceptado actualmente [4].

El comportamiento de algunos parámetros climáticos, es requerido en muchas áreas relacionadas con la energía solar, así también con el aire acondicionado, estudios médicos relacionados a la sobre exposición de dicha irradiación, el área agrícola, aplicaciones fotovoltaicas, etc. El estudio del rendimiento de equipos que utilizan la energía solar depende, fundamentalmente, de las condiciones climáticas de las regiones donde estos sistemas deben ser probados. En efecto, la energía solar está relacionada a factores atmosféricos, como la capa de ozono, y partículas presentes en la atmosfera, también factores geométricos, como el ángulo cenital, declinación de la Tierra que son causante de las estaciones climáticas. Por otro lado, el conocimiento de los diferentes parámetros meteorológicos (temperatura, humedad, presión, radiación solar, etc.) es importante para cualquier estudio del clima en un determinado lugar.

Se dispone de estaciones que miden directamente diversos parámetros meteorológicos (estaciones Davis) en la ciudad de Puno, considerando la gran variabilidad climática y geográfica del país. Es necesario, por lo tanto, establecer el grado de asociación entre los parámetros climáticos medidos comúnmente en estas estaciones meteorológicas en el periodo de tiempo de este trabajo.

Las relaciones estadísticas con datos climáticos han sido sujeto de varios estudios en muchas localidades. Ångström usando la radiación solar en un día claro, sugirió la utilización del porcentaje de brillo solar, que depende de la nubosidad, como un parámetro para la estimación de la radiación solar [5]. Lund correlacionó 9 años de observación de insolación con mediciones de temperatura, viento, nieve, horas de sol, nubosidad, presión y precipitación en Hill, Massachuset se halló que las observaciones de horas de sol, son el mejor método de predicción de la insolación para todos los meses del año [6]. Norris encontró una buena correlación entre la cantidad, el tipo de nubes y la insolación [7].

Alaruri y Cañada correlacionaron valores diarios medios mensuales de la radiación solar global, radiación difusa, radiación infrarroja, radiación ultravioleta, temperatura ambiente, humedad relativa, brillo solar y presión atmosférica

con el mes del año. Ellos desarrollaron modelos de regresión por el método de los mínimos cuadrados, utilizando datos climáticos de Kuwait y Valencia (España). Un importante aspecto de estos estudios fue el uso de variables no climáticas, como el número del mes del año, para la determinación de parámetros climáticos [8] y [9].

La irradiación solar en la ciudad de Puno, es extremadamente alta debido a su altitud (3 827 msnm) con una intensidad de valores máximo 9.806 kwh/m²* día, mínimo de 3.004 kwh/m²*día y un promedio de 6.857 kwh/m²*día [10]. Por otro lado el Índice ultravioleta (IUV) es muy estudiado debido a sus efectos sobre la biodiversidad [11]–[13].

Diversos estudios han evidenciado el impacto de la radiación ultravioleta en los ecosistemas acuáticos [14], plantas [15], [16], vegetación [17], [18], animales [19], [20], ecosistemas terrestres y marinos [21], conservación y durabilidad de materiales como el plásticos y la pintura [22]–[25]. La exposición excesiva a este tipo de radiación puede afectar la salud de la población, provocando enfermedades como el cáncer de piel y las cataratas [26], [27]. Sin embargo, no toda la radiación resulta dañina. Por ejemplo, en el estudio realizado por Fioletov se analizó la relación entre la radiación UV-A y la síntesis de vitamina D en el organismo [28].

El propósito del estudio es analizar de la temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, irradiación solar global e índice ultravioleta. Para ello se analizaron datos atmosféricos del periodo 2023 y 2024, aplicando ajustes polinomiales. Se empleó el método de los mínimos cuadrados para desarrollar modelos de regresión basados en polinomios de tercer grado, con el fin de identificar patrones y relaciones entre las variables.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Lugar de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Universidad Nacional del Altiplano- Puno (UNAP), situada en la ciudad de Puno, al sur de Perú, con coordenadas geográficas de 15.83° S de latitud, 70.083° O de longitud y a una altitud de 3 820 m.s.n.m.

B. Datos atmosféricos en la ciudad de Puno

Se emplean registros obtenidos a través de la estación meteorológica DAVIS Vantage PRO 2.0 Plus [29]. Este dispositivo cuenta con la certificación de calibración proporcionada por el proveedor. Se presenta en la figura 1, la estación meteorológica se encuentra ubicada en una área despejada, sin sombras ni obstáculos, en el pabellón de Ingeniería Civil de la UNAP, con coordenadas de latitud -15.4890, longitud -70.1515 y a una altitud de 3,825 m.s.n.m.



Fig. 1 Estación meteorológica DAVIS vantage PRO 2.0 Plus.

C. Diseño de investigación

Se utilizó la estación meteorológica marca DAVIS Instruments, modelo Vantage Pro2- Plus. Se recopiló los datos cada 15 minutos, desde las 6h:30 min hasta las 17h:00 min, desde enero del 2023 hasta diciembre 2024. Posteriormente se obtuvo el promedio anual de cada dato recopilado para su análisis.

Para la clasificación del modelo y su respectiva correlación, entre los valores medidos y estimados, se utilizaron los siguientes indicadores estadísticos [30].

D. Estadísticos de evaluación

Se han tenido en cuenta los siguientes estadísticos para el análisis de los datos:

- Error estándar promedio o raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE).
- El error medio (MBE).
- El error medio absoluto (MABE).
- Coeficiente de determinación (R^2).
- El coeficiente de correlación (r).

Se expresan mediante las siguientes ecuaciones:

$$RMSE_{\%} = \frac{100}{\bar{I}_{mi}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (I_{mi} - I_{ci})^2}{n} \right]^{1/2} \% \quad (6)$$

$$MBE_{\%} = \frac{100}{\bar{I}_{mi}} \frac{\sum_{i=1}^n (I_{mi} - I_{ci})}{n} \% \quad (7)$$

$$MABE_{\%} = \frac{100}{\bar{I}_{mi}} \frac{\sum_{i=1}^n |I_{mi} - I_{ci}|}{n} \% \quad (8)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})(I_{ci} - \bar{I}_{ci}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (I_{ci} - \bar{I}_{ci})^2 \right]} \quad (9)$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad (10)$$

Donde: I_{mi} es el dato medido por la estación meteorológica, I_{ci} es el dato obtenido por la ecuación teórico, \bar{I}_{mi} es el promedio de los datos medidos por la estación meteorológica, \bar{I}_{ci} es el promedio de los datos obtenidos por la ecuación teórico y n es el número total de observaciones [31], [32].

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 [33], [34].

III. RESULTADOS

La tabla 1 muestra los coeficientes de regresión no lineal de los diversos parámetros meteorológicos, notándose que el estadístico MBE, RMSE, muestra la dispersión alrededor de la curva de ajuste en los diversos parámetros meteorológicos. Parte de la dispersión se debe a la presencia de nubes y precipitación en ciertas estaciones del año (enero, febrero y marzo).

TABLA I
COEFICIENTE DE REGRESIÓN Y PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLES METEOROLÓGICAS ANALIZADAS DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO (2023-2024)

Parámetros	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Presión (mb)	Rad (W/m ²)	IUV
b0	-8.10896	40.25147	28.54577	-3014.411	216.74394
b1	1.92096	11.08851	0.34185	655.65931	-89.49075
b2	0.06404	-1.58786	-0.03125	-28.77591	13.05074
b3	-0.00607	0.05631	8.57815E-4	0.04067	-0.78534
b4	-	-	-	-	0.0166
RMSE(%)	1.531	1.214	0.011	6.249	3.861
MBE(%)	-0.065	0.009	-0.002	0.001	-0.289
MABE(%)	1.184	0.960	0.009	5.222	3.385

Las mayores dispersiones (MBE) corresponden a la radiación solar global, mientras que el RMSE corresponde a la temperatura, el mejor ajuste para el IUV fue un polinomio de grado 4. El MBE subestima ligeramente las mediciones de la temperatura, presión y el IUV. El estadístico MABE según los valores de la tabla 1 y el criterio considera que el modelo es excelente, respecto a la temperatura, humedad, presión y Rad solar global, cuando el modelo es un polinomio de grado tres, mientras que para el IUV es un polinomio de grado 4.

A. Irradiación solar global

La irradiación solar, en la superficie de la tierra, un lugar determinado, es el producto de factores atmosféricos, y geométricos. La variación de la radiación solar extraterrestre, se debe a los factores astronómicos que determinan la intensidad y el número de las horas de brillo solar. En la

superficie de la Tierra su variación se debe a la traslación de la Tierra alrededor del Sol, declinación de la tierra, las masas de aire y el tipo de nubosidad asociada, esto determinan la cantidad de irradiación solar que es reflejada por las nubes, disminuyendo o impidiendo que ésta llegue a la superficie de la Tierra y por tanto influye en las horas de Sol.

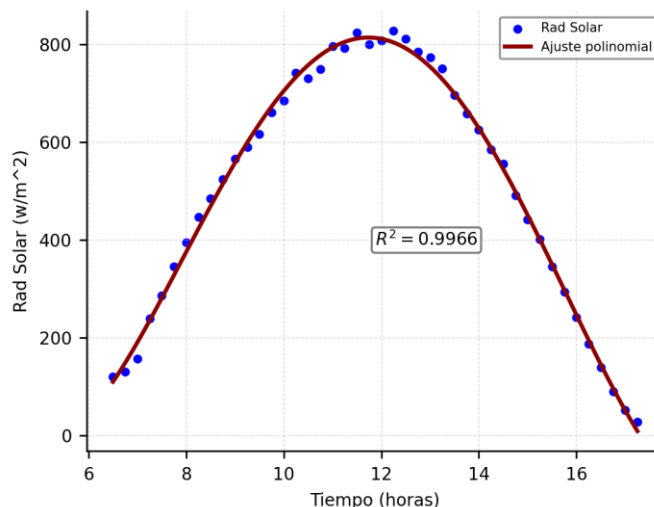


Fig. 1 Comportamiento y ajuste polinomial de la Rad solar global durante el periodo de estudio.

En la figura 1 se muestra la distribución anual del promedio de cada dato recopilado de la irradiación solar global medida en la ciudad de Puno. Esta distribución horaria muestra cierta simetría, que es más pronunciada cuando no hay presencia de nubes (junio y julio). Los valores máximos diarios se presentan entre la 11:30 am y 12: pm. Los índices de mayor insolación se presentan en los meses de enero febrero, marzo, los de menor insolación en los meses junio y julio. El valor promedio para el período de medición fue 0,455 W/m². Mientras que las intensidades horarias máximas fueron de 1050 W/m².

También la figura 1 indica la correlación que fue 0.996, este valor indica el buen compromiso entre la medición y el ajuste polinomial de grado tres.

B. Índice ultravioleta

Aunque el IUV de la irradiancia ultravioleta, es una pequeña fracción del espectro solar, su incidencia en la ciudad de Puno, debido a su ubicación geográfica, es muy elevado en ciertas estaciones del año (parte de diciembre, enero y febrero), llegando a valores superiores a 20, que son muy superiores a 12 (valor máximo según [35]). En estos meses el IUV tiene efectos nocivos en la salud de la población. Los valores mínimos registrados del IUV es 8 y se registraron en los meses de junio y julio.

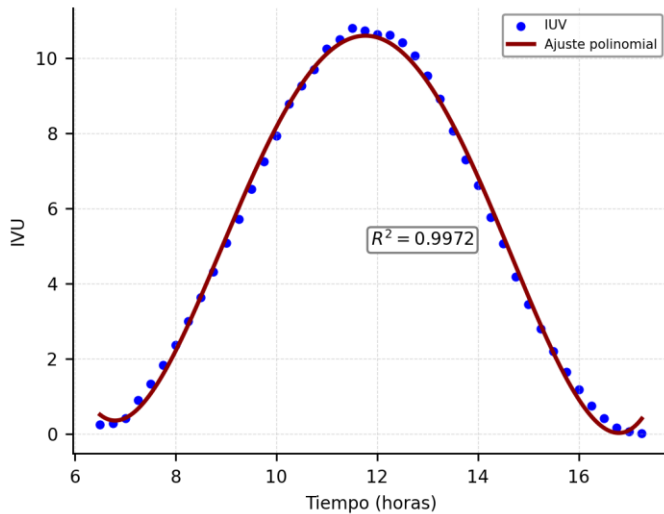


Fig. 2 Comportamiento y ajuste polinomial del IUV durante el periodo de estudio.

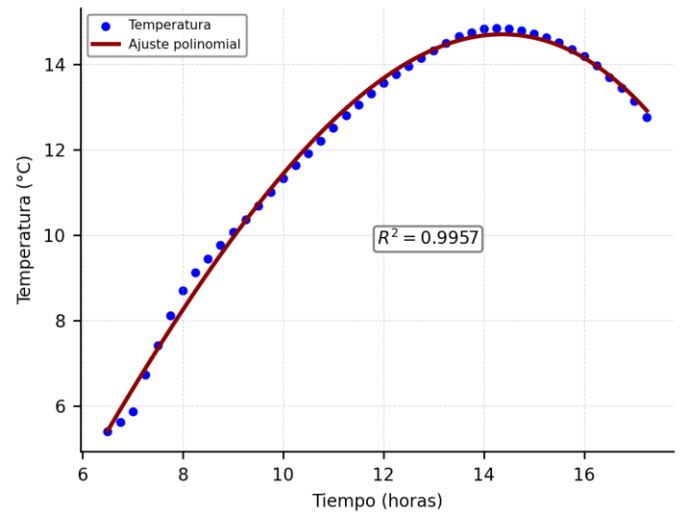


Fig. 3 Comportamiento y ajuste polinomial de la temperatura diurna durante el periodo de estudio.

La figura 2 muestra los valores máximos debido al ángulo cenital al medio día solar, siendo la correlación de 0.997 para un ajuste polinomial de grado cuatro. Debido a su importancia sobre la incidencia en la salud de la población, se instalan equipos de monitoreo, también diversos autores realizan modelos para predecir su comportamiento. [36], [37], [38].

La figura 2 muestra una ligera dispersión, que se debe a la presencia de nubes. Sin embargo, puede observarse una cierta similitud con la variación diurna de la irradiación solar global (figura 1), como la simetría, El promedio horario mensual, para el período de medición fue de 5.2. El valor máximo es 10.79 a medio día solar, los valores menores son de 0,25 a las 6:30 am, pueden explicarse esta dispersión por la presencia de nubes, en la época de lluvia. El cociente porcentual entre promedios horarios del IUV y la radiación solar global para el período en cuestión, fue de 0.84%.

C. Temperatura del aire

La temperatura del aire es el balance de calor en la superficie terrestre, esto conlleva a un ciclo diario, como se muestra en la figura 3.

Los valores máximos de temperatura fueron de 14.84 °C a las 14:46 horas. La temperatura aumenta en la mañana debido a la absorción de energía solar, es mayor respecto a su disipación [39], cuando la irradiación solar global promedio, tiene el valor de 824 W/m² a las 12 pm en la superficie del lugar, esto se debe cuando la tasa de disipación, es igual a la tasa con que se recibe irradiancia solar. Posteriormente, la superficie acumula energía que se manifiesta en un aumento de temperatura, notándose un desfase de los valores máximos con el tiempo. El comportamiento de la temperatura presenta una asimetría, que se debe probablemente a la acumulación de calor por la superficie terrestre. El coeficiente de correlación es de 0.995 para un polinomio de tercer grado.

D. Humedad relativa

Es una expresión porcentual de la cantidad de vapor de agua presente en el aire con respecto a la máxima posible para ciertas condiciones de presión y temperatura.

La figura 4 muestra la humedad relativa versus tiempo. El rango de los valores horarios medios mensuales de la humedad relativa para el período de medición oscila entre 45 y 85%. El valor horario medio mensual fue de 67 ,3%. Hay un descenso de la humedad que se presentan entre las 6 am hasta las 14 horas (figura 4), cuando la irradiación solar aumenta, posteriormente se eleva la humedad relativa, mientras descienden los valores de la irradiancia solar. En este intervalo de tiempo existe una relación inversa entre el comportamiento de la temperatura (figura 3) y la de humedad relativa.

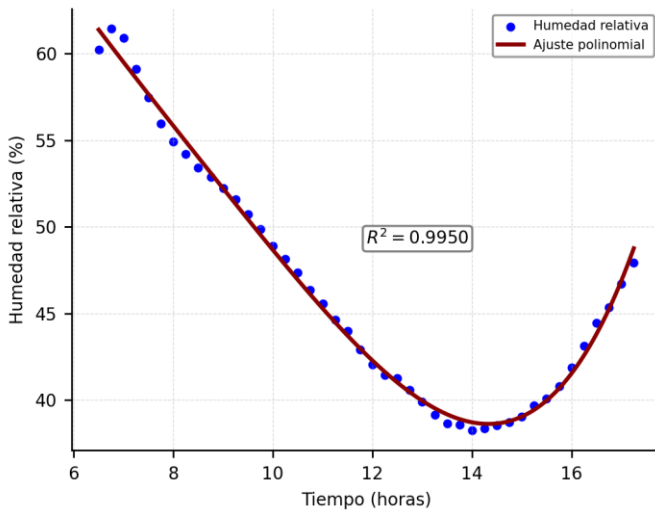


Fig. 4 Distribución diaria (entre las 6 y 18 horas) de los datos de humedad relativa obtenidos durante el periodo de medición.

En la estación de invierno, los valores de la humedad relativa son menores al 50%, lo que se explica por la dilatación de la masa de aire. Durante los meses más lluviosos la humedad relativa es más alta y los valores horarios oscilan entre 65 y 85% figura 4. Estos valores máximos horarios coinciden con la presencia de núcleos de precipitación máxima relativa por la tarde, con el descenso de la temperatura en el transcurso de la noche y las primeras horas de la madrugada. Al mediodía, la máxima y la mínima humedad horaria se presentaron en octubre (67%) y abril (45%), respectivamente.

E. Presión atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire que forma la atmósfera sobre la superficie terrestre. Por tanto, la presión atmosférica disminuye con la altitud.

La presión en la ciudad de Puno presenta un valor máximo de 1010 mb entre las 8 am y 9 am y un valor mínimo entre las 3 pm y 4 pm. Estas variaciones están relacionadas con la fuerza gravitacional de la luna respecto a la tierra, siendo la relación directa de la radiación solar con la presión atmosféricas en horas de la tarde.

La figura 5 muestra un comportamiento cíclico de la presión atmosférica. El modelo de ajuste para la presión fue un polinomio de tercer grado, la correlación es 0.998.

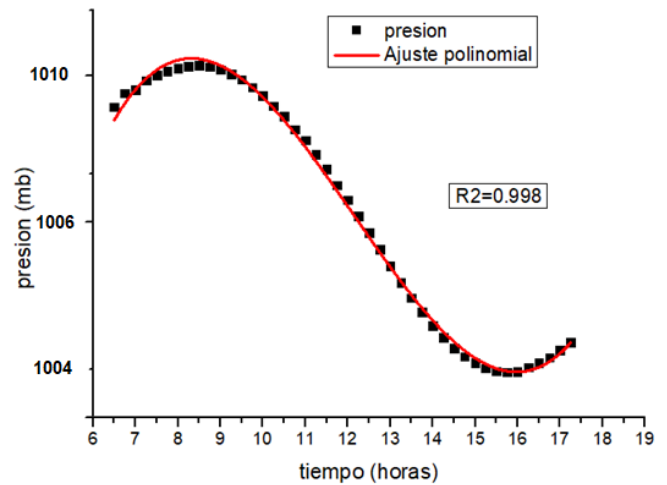


Fig. 5 Distribución diaria (entre las 6 y 18 horas) de los datos de la presión atmosférica en la ciudad de Puno durante el periodo de medición.

Se observa en la figura 5 que la presión tiende a decrecer paulatinamente desde la mañana hasta un valor mínimo en la tarde. El desfase existente entre el máximo valor de radiación solar (figura 1) y el máximo de la presión atmosférica se atribuye a la fuerza gravitacional que ejerce la luna sobre la Tierra.

Los modelos validados de la irradiación solar global y utilizados por investigadores, como el SMARTS, SBDART, etc. Utilizan como variables de entrada la temperatura, presión, humedad relativa, para calcular la irradiación solar global, como se muestra en la figura 6.

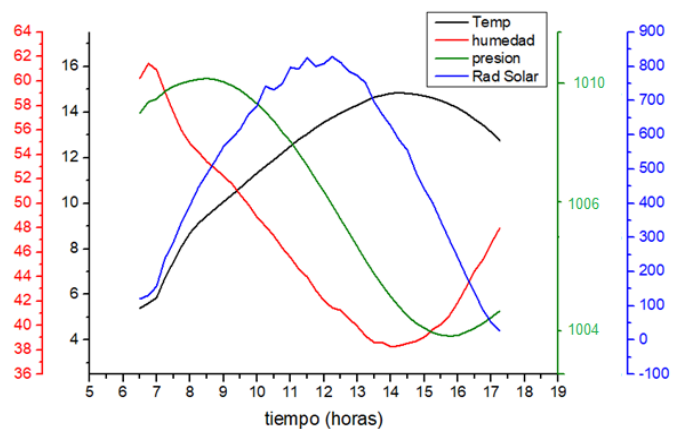


Fig. 6 Comportamiento de las variables meteorológicas entre las 6 y 18 horas durante el periodo de medición.

Puede observarse que hay una relación de la temperatura con la irradiación solar global en las primeras horas de la mañana, también hay una relación inversa de la humedad relativa con dicha irradiación después de medio día, similarmente hay una relación inversa con la presión atmosférica, los valores máximos de las variables

meteorológicas están desfasadas respecto al valor máximo de la irradiación solar global, como se ha descrito en este trabajo.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que el modelo de mejor ajuste para las mediciones es un polinomio de tercer grado, con correlaciones de 0.996 para la irradiación solar global, 0.997 para el IUUV, 0.995 para la temperatura, 0.995 para la humedad relativa y 0.998 para la presión, evidenciando una notable relación entre las variables meteorológicas y la irradiación solar global. Este modelo ofrece un pronóstico fiable de la irradiación solar global. En cuanto al IUUV, el modelo de ajuste óptimo corresponde a un polinomio de cuarto grado. Además, se ha observado un desfase en los valores máximos de las variables meteorológicas, como temperatura, presión y humedad relativa, respecto a la irradiancia solar global, fenómeno que se atribuye a la influencia de otros factores.

REFERENCIAS

- [1] B. Jamil, K. Irshad, A. Algahtani, S. Islam, M. A. Ali, y A. Shahab, «On the calibration and applicability of global solar radiation models based on temperature extremities in India», *Environ. Prog. Sustain. Energy*, vol. 39, n.º 1, pp. 1-13, 2020.
- [2] M. M. Khan, M. J. Ahmad, y 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] S. Dhakal, Y. Gautam, y A. Bhattarai, «Evaluation of Temperature-Based Empirical Models and Machine Learning Techniques to Estimate Daily Global Solar Radiation at Biratnagar Airport, Nepal», *Adv. Meteorol.*, vol. 2020, 2020.
- [4] Varo, «Modelización de la radiación ultravioleta solar», 2006.
- [5] Ångström, «On the Atmospheric Transmission of Sun Radiation and on Dust in the Air», *Geogr. Ann.*, vol. 11, n.º 2, pp. 156-166, 1929.
- [6] I. A. Lund, «Relationships between insolation and other surface weather observations at Blue Hill, Massachusetts», *Sol. Energy*, vol. 12, n.º 1, pp. 95-106, 1968.
- [7] Norris, «Correlation of Solar R a D I a T I O N With Clouds *», vol. 12, n.º February, pp. 107-112, 1968.
- [8] S. D. Alaruri y M. F. Amer, «Empirical regression models for weather data measured in Kuwait during the years 1985, 1986, and 1987», *Sol. Energy*, vol. 50, n.º 3, pp. 229-233, 1993.
- [9] J. Canada y J. M. Pinazo, «MEASURED IN VALENCIA DURING THE Abstract--Monthly», vol. 11, n.º 2, pp. 211-222, 1997.
- [10] C. W. T. Huamán, E. G. M. Mamani, M. R. Barreto, R. A. L. Vilca, L. P. Cahuana, y V. P. Torres, «Análisis De Radiación Solar Global Para La Ciudad De Puno», *Estud. Multidiscip. Ciências exatas e da terra e Eng.*, pp. 25-36, 2023.
- [11] I. Foyo, «The influence of cloudiness on UV global irradiance (295-385 nm)», *Agric. For. Meteorol.*, vol. 120, n.º 1-4, pp. 101-111, 2003.
- [12] Gray, «Solar influences on climate», *Rev. Geophys.*, vol. 48, n.º 4, 2010.
- [13] Keppler, «Ultraviolet-radiation-induced methane emissions from meteorites and the Martian atmosphere», *Nature*, vol. 486, n.º 7401, pp. 93-96, 2012.
- [14] Jacquet, «Effects of ultraviolet radiation on marine virus-phytoplankton interactions», *FEMS Microbiol. Ecol.*, vol. 44, n.º 3, pp. 279-289, 2003.
- [15] Sweet, «Evidence of melanoma in wild marine fish populations», *PLoS One*, vol. 7, n.º 8, 2012.
- [16] Paoletti, «UV-B and Mediterranean forest species: Direct effects and ecological consequences», *Environ. Pollut.*, vol. 137, n.º 3, pp. 372-379, 2005.
- [17] Kunz, «Plant Responses to UV Radiation and Links to Pathogen Resistance», *Int. Rev. Cytol.*, vol. 255, n.º 06, pp. 1-40, 2006.
- [18] Li, «A meta-analysis of the responses of woody and herbaceous plants to elevated ultraviolet-B radiation», *Acta Oecologica*, vol. 36, n.º 1, pp. 1-9, 2010.
- [19] Sinha, «Life under solar UV radiation in aquatic organisms», *Adv. Sp. Res.*, vol. 30, n.º 6, pp. 1547-1556, 2002.
- [20] Pahkala, «Effects of ultraviolet-B radiation on behaviour and growth of three species of amphibian larvae», *Chemosphere*, vol. 51, n.º 3, pp. 197-204, 2003.
- [21] J. Rozema *et al.*, «The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems-An experimental and functional analysis of the evolution of UV-absorbing compounds», *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, vol. 66, n.º 1, pp. 2-12, 2002.
- [22] Liu, «Effect of carbon black on UV stability of LLDPE films under artificial weathering conditions», *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 75, n.º 3, pp. 485-499, 2002.
- [23] Verbeek, «Degradation as a result of UV radiation of bloodmeal-based thermoplastics», *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 96, n.º 4, pp. 515-522, 2011.
- [24] Johnson, «Analysis of test methods for UV durability predictions of polymer coatings», *Prog. Org. Coatings*, vol. 27, n.º 1-4, pp. 95-106, 1996.
- [25] Allen, «Photocatalytic titania based surfaces: Environmental benefits», *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 93, n.º 9, pp. 1632-1646, 2008.
- [26] Gallagher, «Adverse effects of ultraviolet radiation: A brief review», *Prog. Biophys. Mol. Biol.*, vol. 92, n.º 1, pp. 119-131, 2006.
- [27] J. Santos, «Analysis and cloudiness influence on UV total irradiation», *Int. J. Climatol.*, vol. 31, n.º 3, pp. 451-460, 2011.
- [28] Fioletov, «On the relationship between erythral and vitamin D action spectrum weighted ultraviolet radiation», *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, vol. 95, n.º 1, pp. 9-16, 2009.
- [29] C. W. Taipe, U. Yancachajilla, J. R. Gallegos, y E. G. Mendoza, «Índice de radiación ultravioleta estimado por la Estación Meteorológica Davis de la Universidad Nacional de Juliaca», *Ñawparisun*, vol. 2, pp. 37-42, 2020.
- [30] Martínez, «Measurement and Analysis of Ultraviolet Solar», *Int. J.*, vol. 16, pp. 947-955, 1996.
- [31] S. Alexandris, P. Kerkides, y A. Liakatas, «Daily reference evapotranspiration estimates by the "Copais" approach», *Agric. Water Manag.*, vol. 82, n.º 3, pp. 371-386, 2006.
- [32] H. Tabari, «Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates», *Water Resour. Manag.*, vol. 24, n.º 10, pp. 2311-2337, 2010.
- [33] Yanfeng, «Classification of solar radiation zones and general models for estimating the daily global solar radiation on horizontal surfaces in China», *Energy Convers. Manag.*, vol. 154, n.º September, pp. 168-179, 2017.
- [34] Mao, «General models for estimating daily global solar radiation for different solar radiation zones in mainland China», *Energy Convers. Manag.*, vol. 70, pp. 139-148, 2013.
- [35] WHO, «Índice UV Solar Mundial», 2003.
- [36] I. J. Barton, «Dosage of Erythral Solar Ultraviolet», pp. 2069-2073, 1983.
- [37] C. R. Nagaraja Rao, T. Takashima, W. A. Bradley, y T. Y. Lee, «Near ultraviolet radiation at the earth's surface: Measurements and model comparisons», *Tellus*, vol. 36 D, n.º 4, pp. 286-293, 1984.
- [38] Castro, «Metodo para la estimacion de radiacion ultra violeta», vol. 10, n.º 1, pp. 103-106, 1986.
- [39] Asiva Noor Rachmayani, *Boundary layer climates*. 2015.