

Analysis of the ultraviolet index in the region of Puno, Peru

Ciro William Taipe Huaman¹, Eva Genoveva Mendoza Mamani², Julio Rumualdo Gallegos Ramos¹, Hugo Hernan Flores Laime³, Vitaliano Enriquez Mamani¹, Julio Cesar Laura Huanca¹, Tania Jakeline Choque Rivera¹

¹Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe, jgallegos@unaj.edu.pe, v.enriquezm@unaj.edu.pe, jc.laura@unaj.edu.pe, tj.choquer@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 work had the objective of analyzing the values of the ultraviolet index in the Puno region, for which it has been considered a point of reference in the thirteen provinces. To obtain ultraviolet index values, data from the weather station of the city of Puno for the period 2016-2021 has been considered and with this obtain a correction equation for the data obtained from the Giovanni NASA website and thus obtain maximum daily values for the Puno region. A theoretical model has been considered to obtain the ultraviolet index, which is for clear sky conditions. The evaluation statistics used are the standard error and the linear correlation coefficient between the estimated data and values measured by the weather station. It is concluded that it is possible to obtain UV index values for the city of Puno with a reliability of 95% and an error of 0.8, and for the Puno region it is possible to obtain UV index values by means of the correction equation, where the very high and extreme UV index values occur in the summer season.

Keywords-- Ultraviolet Index, solar radiation, Giovanni, theoretical model, Ultraviolet sensor.

Análisis del índice ultravioleta en la región de Puno, Perú

Ciro William Taipe Huaman¹, Eva Genoveva Mendoza Mamani², Julio Rumualdo Gallegos Ramos¹, Hugo Hernan Flores Laime³, Vitaliano Enriquez Mamani¹, Julio Cesar Laura Huanca¹, Tania Jakeline Choque Rivera¹

¹Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe, jgallegos@unaj.edu.pe, v.enriquezm@unaj.edu.pe, jc.laura@unaj.edu.pe, tj.choquer@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 work had the objective of analyzing the values of the ultraviolet index in the Puno region, for which it has been considered a point of reference in the thirteen provinces. To obtain ultraviolet index values, data from the weather station of the city of Puno for the period 2016-2021 has been considered and with this obtain a correction equation for the data obtained from the Giovanni NASA website and thus obtain maximum daily values for the Puno region. A theoretical model has been considered to obtain the ultraviolet index, which is for clear sky conditions. The evaluation statistics used are the standard error and the linear correlation coefficient between the estimated data and values measured by the weather station. It is concluded that it is possible to obtain UV index values for the city of Puno with a reliability of 95% and an error of 0.8, and for the Puno region it is possible to obtain UV index values by means of the correction equation, where the very high and extreme UV index values occur in the summer season.*

Keywords– *Ultraviolet index, solar radiation, Giovanni, theoretical model, ultraviolet sensor.*

Resumen– *El trabajo tuvo el objetivo de analizar los valores de índice ultravioleta en la región de Puno, para lo cual se ha considerado un punto de referencia en las trece provincias. Para obtener valores de índice ultravioleta se ha considerado datos de la estación meteorológica de la ciudad de Puno del periodo 2016-2021 y con ello obtener una ecuación de corrección para los datos obtenidos de la web Giovanni NASA y de esta forma obtener valores máximos diario para la región de Puno. Se ha considerado un modelo teórico para obtener el índice ultravioleta la cual es para condiciones de cielo despejado. Los estadísticos de evaluación utilizados es el error estándar y el coeficiente de correlación lineal entre los datos estimas y valores medidos por la estación meteorológica. Se concluye que se logra obtener valores de índice UV para la ciudad de Puno con una fiabilidad de 95% y un error de 0.8, y para la región de Puno se logra obtener valores de índice UV por medio de la ecuación de corrección, donde los valores de índice UV muy alto y extrema se presenta en la estación de verano.*

Palabras claves—*Índice ultravioleta, radiación solar, Giovanni, modelo teórico, sensor ultravioleta.*

I. INTRODUCCIÓN

La radiación solar ultravioleta (UV) tiene efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos. La radiación UV causa

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

daños en el ADN, quemaduras solares, reacciones fototóxicas y fotoalérgicas e inmunodepresión, que puede considerarse un factor de riesgo de cáncer y dar lugar a la reactivación de virus [1], cáncer en la piel [2]–[4]. En los ojos causa efectos oculares agudos, como fotoqueratitis y fotoconjuntivitis. Se trata de efectos reversibles que se pueden prevenir con gafas protectoras y no suelen causar daños a largo plazo, pero son dolorosos y pueden requerir una intervención terapéutica [3], [5]–[7] y afecta al sistema inmunológico [8]. El efecto más común de la sobreexposición a la radiación solar es la quemadura solar o eritema, que aparece 10-16 horas después de la exposición al sol [9]–[11]. La exposición no es en toda su magnitud perjudicial, está relacionado con la vitamina D [12], [13]. Los efectos en la naturaleza como en la agricultura y la vida acuática se presenta en las plantas y peces [14]–[16]. En vegetación afectando en su crecimiento [17]–[19], en los animales produce quemaduras en su piel [20], [21], en la conservación y durabilidad de materiales como el plásticos y la pintura [22]–[25].

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) adoptó en 1987 una curva estándar del eritema [26] que es utilizada habitualmente para determinar la radiación solar UV eritemática (UVER). Para la información de manera sencilla a la opinión pública sobre los niveles de radiación UV [27], se adopta el índice UV (UVI) propuesto por [28], el cual es recomendado por la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (OMS), por la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP).

En los últimas décadas, el número de estaciones de medida a nivel de suelo que proporcionan datos de calidad de radiación solar UV ha ido aumentando constantemente, aunque estas estaciones proporcionan una cobertura espacial limitada. Los instrumentos que miden la radiación solar UV a bordo de satélites, como GOME y SCIAMACHY de la Agencia Espacial Europea o Espectrómetro de mapeo de ozono total (TOMS) y Instrumento de monitoreo de ozono (OMI) de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), por el contrario, proporcionan una cobertura espacial mayor. Por lo tanto, es necesaria la validación de los datos satelitales a partir de medidas con base en tierra para evaluar la calidad y precisión de los mismos.

C. Datos de índice UV en la ciudad de Puno

Se utiliza datos de índice ultravioleta medidos por la estación meteorológica DAVIS Vantage PRO 2.0 Plus mediante el sensor UV en un rango de 0-16 y una precisión de $\pm 5\%$ de la escala total [38]. El cual tiene certificación de calibración por el proveedor. Se muestra en la figura 2, la estación meteorológica el cual está instalada en una zona libre de sombras y obstáculos en el pabellón de ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno (UNAP) en las coordenadas latitud $-15,4890$, longitud $-70,1515$ y una altitud de $3,825\text{msnm}$.



Fig. 2 Estación meteorológica DAVIS vantage PRO 2.0 Plus

D. Datos satelitales

Los datos de índice UV se descargan de la plataforma Giovanni para las trece provincias de la región de Puno, considerando la latitud y longitud de las ciudades las cuales se muestran en la tabla I. Giovanni es la interfase web de la NASA que provee información de varios satélites para todas las zonas del mundo. Los datos ya están procesados y pueden ser descargados en una escala requerida. Este servidor es superior ya que permite examinar los datos satelitales con una resolución espacial reducida a la zona de estudio. Los datos en Giovanni están agrupados por temas, teniendo varios set de datos por categoría. El servidor también te permite búsquedas temáticas y te muestra las características de los registros como resolución y tiempo de registro[39].

TABLA I

DATOS DE POSICIÓN DE CIUDAD DE PROVINCIAS DE LA REGIÓN DE PUNO

N°	Provincia	Ciudad	Latitud	Longitud
1	Azángaro	Azángaro	14°55'1.9" S	70°11'25.7" W
2	Carabaya	Crucero	14°21'51.1" S	70°1'33.3" W
3	Chucuito	Juli	16°12'13.392" S	69°27'36.140" W
4	El Collao	Ilave	16°3'35.8" S	69°38'25.4" W
5	Huancané	Huancané	15°12'24.7" S	69°45'29.9" W
6	Lampa	Lampa	15°21'39.9" S	70°22'27" W
7	Melgar	Santa Rosa	14°37'4.1" S	70°47'34" W
8	Moho	Moho	15°23'17.15" S	69°29'3.09" W
9	Puno	Puno	15°49'34.5" S	70°0'43.5" W
10	San Antonio de Putina	Putina	14°55'15.6" S	69°52'32.5" W
11	San Román	Juliaca	15°26'38.94" S	70°12'28.02" W
12	Sandia	Cuyo Cuyo	14°29'19.83" S	69°33'13" W
13	Yunguyo	Yunguyo	16°18'28.2" S	69°4'29" W

E. Modelo teórico

El índice UV, fue definido por [28] basado en el daño que provoca la radiación solar sobre la piel de los humanos. Si la radiación UV espectral recibida en superficie se multiplica con el espectro de acción y se integra desde 0.280 a 400 nm , se obtiene la radiación solar UV eritemática.

El índice Ultravioleta es formulado utilizando el espectro de acción eritemática inducido por la radiación ultravioleta sobre la piel humana, formulada por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).

$$IUV = k_{er} \int_{0.28}^{0.40} I_{\lambda} \varepsilon(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

Donde k_{er} es una constante igual a $40\text{m}^2/W$ y $\varepsilon(\lambda)$ es coeficiente de acción eritemática cuyo valores vienen dados por la ecuación (2) propuestos por Madronich y Flocke [40].

$$\varepsilon(\lambda) = \begin{cases} 1, & \lambda \leq 0.298\mu\text{m} \\ 10^{0.094(298-1000\lambda)}, & 0.298\mu\text{m} < \lambda \leq 0.328\mu\text{m} \\ 10^{0.015(139-1000\lambda)}, & 0.328\mu\text{m} < \lambda \leq 0.400\mu\text{m} \end{cases} \quad (2)$$

La irradiancia ultravioleta global espectral en una superficie horizontal I_{λ} se calcula por medio de la ecuación (3)

$$I_{\lambda} = I_{n\lambda} \cos\theta_z + I_{d\lambda} \quad (3)$$

Donde θ_z , es el ángulo cenital del lugar, $I_{d\lambda}$ es irradiancia difusa espectral en el suelo, $I_{n\lambda}$ irradiancia directa espectral en el suelo se calcula considerando la ecuación (4)

$$I_{n\lambda} = I_{0n\lambda} E_o \tau_r(\lambda) \tau_a(\lambda) \tau_o(\lambda) \quad (4)$$

Donde $I_{0n\lambda}$ es la constante solar espectral a la distancia media Tierra Sol, E_o es el factor de corrección para la distancia Tierra-Sol, λ longitud de onda, $\tau_r(\lambda)$ transmitancia por la dispersión de Rayleigh, $\tau_a(\lambda)$ transmitancia espectral del aerosol atmosférico y $\tau_o(\lambda)$ transmitancia para el ozono [41], [42].

Para informar a la población sobre los valores de índice UV se expresa en cantidades numéricas enteras [27], como se muestra en la ecuación (5).

$$IUV = \text{entero}(40 \text{ UVER}) = \text{entero} \left[40 \int_{0.28}^{0.40} I_{\lambda} \varepsilon(\lambda) d\lambda \right] \quad (5)$$

En la Figura 3, muestra los valores del índice de radiación ultravioleta a nivel mundial, el nivel de exposición y la recomendación en cada caso, según [27].



Fig. 3 Niveles de índice UV

F. Estadísticos de evaluación

Se ha considerado los estadísticos siguientes en el análisis de datos:

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

Están dados por las siguientes ecuaciones:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (I_{mi} - I_{ci})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (I_{mi} - I_{ci})}{n} \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})(I_{ci} - \bar{I}_{ci}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (I_{ci} - \bar{I}_{ci})^2 \right]} \quad (8)$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad (9)$$

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 [43], [44]

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Índice UV obtenidos de NASA

A continuación se muestran datos obtenidos de Giovanni de valores máximo diario de índice UV para el periodo 2005 a 2021 el cual se muestra en la figura 4, donde se observa el comportamiento periódico del índice UV, ello debido las estaciones del año, y la posición de la tierra y el sol [41]. En este periodo se obtuvo un valor máximo de 19.34, un valor mínimo de 8.23 y un promedio de 14.54 de los valores de índice UV. Los valores donde se obtiene valores extremos máximos son en la estación de verano para la ciudad de Puno[45]–[47].

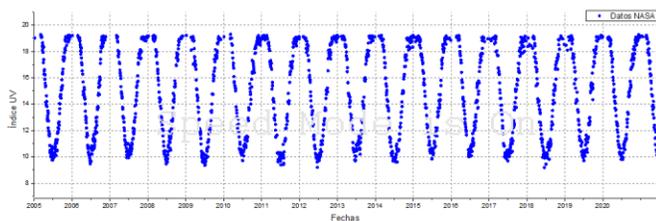


Fig. 4 Valores máximos diarios del índice UV periodo 2005-2021 para la ciudad de Puno.

B. Índice UV para la ciudad de Puno

Ahora se realiza un análisis de los datos para el año 2021 para la ciudad de Puno, se considera datos medidos por la estación meteorológica de la UNAP y datos de la Giovanni NASA, con la finalidad de observar el comportamiento de los valores de índice UV, el cual se muestra en la figura 5, donde se observa una diferencia de los valores obtenidos por Giovanni NASA los cuales son mayores con respecto a los medidos por la estación meteorológica UNAP, por lo tanto, se realiza una corrección de datos en función a los datos medidos por la estación meteorológica.

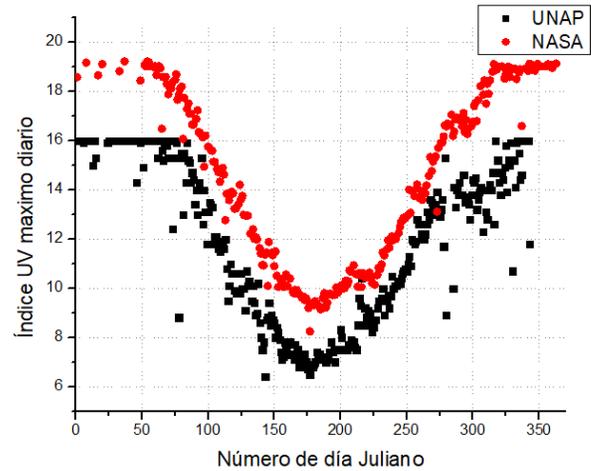


Fig. 5 Índice UV para la ciudad de Puno año 2021.

Para poder obtener una ecuación de corrección de datos en función a los datos medidos por la estación meteorológica consideramos datos del periodo 2016-2021 obtenidos de la UNAP y NASA, para luego realizar una correlación lineal de 2193 datos y obtener la ecuación de corrección como se muestra en la figura 6, considerando la totalidad de datos para cielos nublados, parcialmente nublados y despejados.

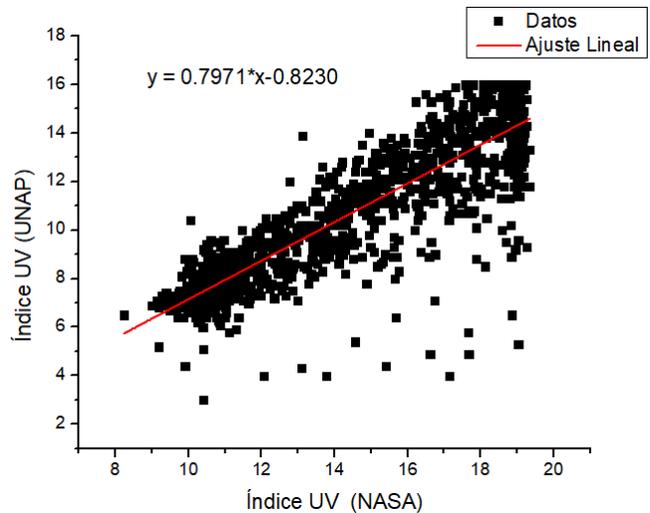


Fig. 6 Comparación de índice UV, NASA y UNAP para la ciudad de Puno año 2016-2021.

Del ajuste lineal se obtiene la ecuación:

$$I_E = 0.7971 * I_N - 0.8230 \quad (10)$$

Donde I_E es el índice UV medido por la estación meteorológica de la UNAP y I_N índice UV obtenido de satélite por la NASA. La ecuación (10) permite realizar las correcciones para obtener valores de índice UV. En la figura 7 se muestra valores máximo diario del índice UV para la ciudad de Puno, para el periodo de 2010-2021 en función al número de día juliano, obtenido utilizando la ecuación (10).

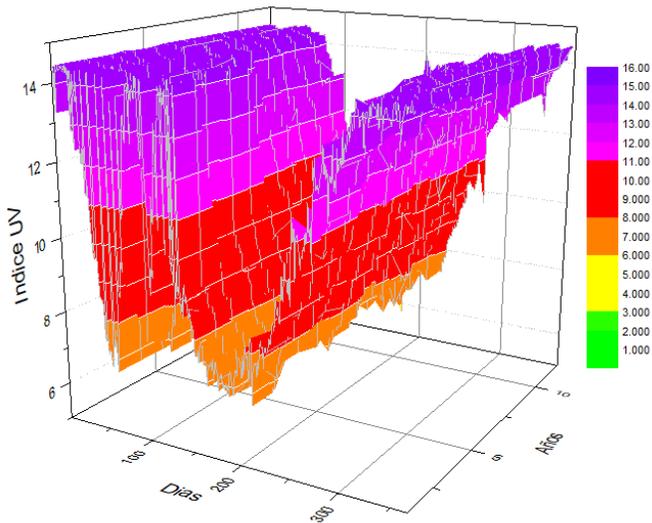


Fig. 7 Índice UV para la ciudad de Puno año 2010-2021.

Se realiza una comparación de los valores estimados por el modelo teórico y datos medido por la estación meteorológica de la UNAP, para el año 2021, para la ciudad de Puno el cual se muestra en la figura 8, en función a ello se realiza las estimaciones de valores máximos diario para las demás provincias de la región de Puno.

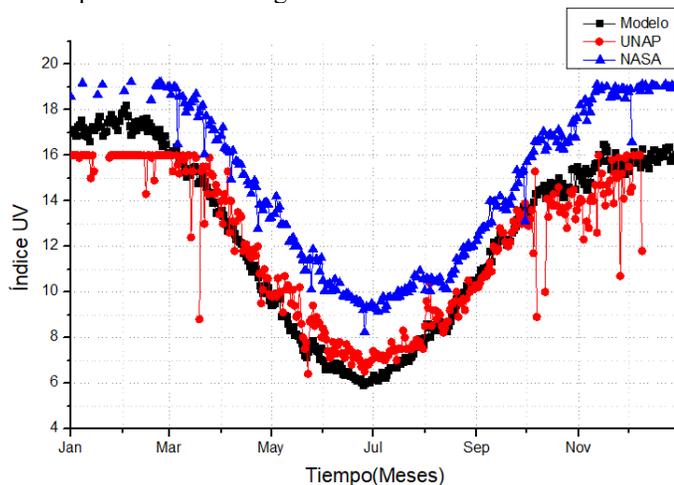


Fig. 8 Índice UV para la ciudad de Puno año 2021.

En el análisis estadístico que se muestra en la tabla II, resulta que el coeficiente de correlación lineal de datos obtenidos de

la NASA y el modelo teórico se obtiene valores mayores a 0.95 lo que indica que es posible estimar valores de índice UV con una confiabilidad del 95% y un error de 0.80 para valores obtenidos por el modelo, mientras que para los datos de la NASA se obtiene un error de 2.78 con respecto a los valores de índice UV medidos por la estación meteorológica de la UNAP.

TABLA II
ESTADÍSTICOS DE EVALUACIÓN

Datos	MBE	RMSE	R^2	r
Modelo	0.8057	1.1155	0.9103	0.9541
NASA	2.7865	2.9004	0.9481	0.9737

C. Índice UV para la región de Puno

Para obtener valores del índice ultravioleta se considera las coordenadas de latitud y longitud de las ciudades considerados en la tabla I y se obtiene los valores máximo diarios, de la plataforma web de Giovanni, considerando la ecuación (10) cuyos resultados se muestran en la tabla III, donde se observa resultados similares, ello porque los datos utilizados para el cálculo son obtenidos de Giovanni NASA lo cual es para grandes áreas, por ello difieren de mediciones puntuales.

TABLA III
VALORES DE ÍNDICE UV MÁXIMO Y MÍNIMA PARA LAS PROVINCIAS

Nº	Provincia	Ciudad	Máximo	Mínimo	Promedio
1	Azángaro	Azángaro	14.4862	6.3928	10.7187
2	Carabaya	Crucero	14.4862	6.3928	10.7187
3	Chucuito	Juli	14.5533	5.7580	10.5427
4	El Collao	Ilave	14.5533	5.7580	10.5427
5	Huancané	Huancané	14.5663	6.1119	10.5728
6	Lampa	Lampa	14.4997	5.7425	10.7410
7	Melgar	Santa Rosa	14.4862	6.3928	10.7187
8	Moho	Moho	14.5663	6.1119	10.5728
9	Puno	Puno	14.4997	5.7425	10.7410
10	San Antonio de Putina	Putina	13.9809	3.2878	9.6541
11	San Román	Juliaca	14.4997	5.7425	10.7410
12	Sandia	Cuyo Cuyo	13.9809	3.2878	9.6541
13	Yunguyo	Yunguyo	14.5533	5.7580	10.5427

D. Índice UV diario medido por hora para la ciudad de Puno

A continuación, se muestra datos del índice UV en intervalos de una hora por la estación meteorológica de la UNAP lo cual se muestra en la figura 9, donde se muestra las fechas y el coeficiente de correlación lineal entre los datos para las tres fechas, para obtener valores de índice UV por horas se utilizó la ecuación (1) ingresando sus respectivos parámetros.

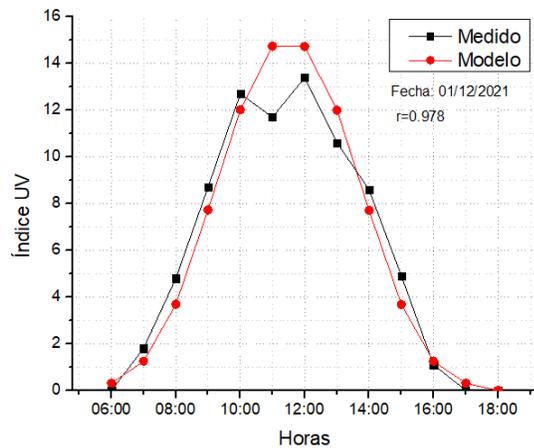
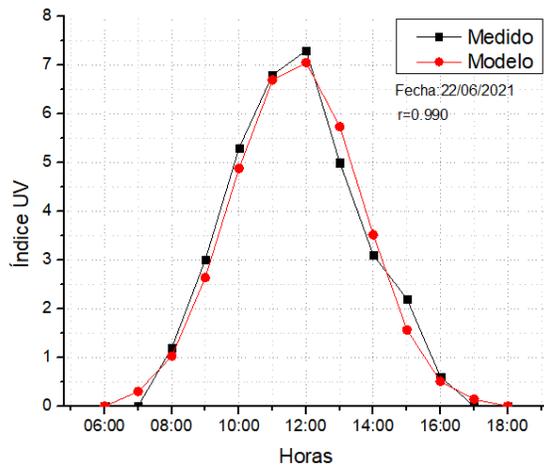
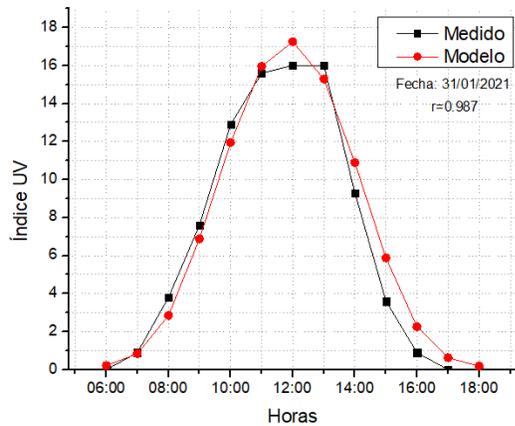


Fig. 9 Comparación de valores de Índice UV modelo y medido por estación meteorológica.

IV. CONCLUSIONES

En la investigación se logró estimar valores de índice UV para la ciudad de Puno y la región de Puno mediante datos descargados de web de Giovanni NASA y una ecuación de corrección, también se utilizó un modelo teórico para cielos despejados. Los niveles de índice UV se ubican en el nivel muy alto y extremo en la estación de verano para la ciudad de

Puno. Se logró establecer valores máximos de índice UV para las trece provincias de la región de Puno. Se obtuvo valores de índice UV con una confiabilidad del 95% y un error de 0.80 con respecto a la ecuación de corrección de datos. Es necesario estimar valores de índice UV para las trece provincias de la región de Puno en intervalos de una hora para poder observar el comportamiento y establecer los intervalos de tiempo donde se presente niveles de índice UV muy alto y extrema.

REFERENCIAS

- [1] C. Sordo y C. Gutiérrez, «Cáncer de piel y radiación solar: experiencia peruana en la prevención y detección temprana del cáncer de piel y melanoma», *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, vol. 30, n.º 1, pp. 113-117, mar. 2013.
- [2] F. Urbach, «Potential, effects of altered solar ultraviolet radiation on human skin cancer», *Photochem. Photobiol.*, vol. 50, n.º 4, pp. 507-513, 1989.
- [3] R. P. Gallagher y T. K. Lee, «Adverse effects of ultraviolet radiation: A brief review», *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 92, vol. 92, pp. 119-131, 2006.
- [4] U. R. Levels, «fenotipos e infraestructura de protección solar en instituciones educativas de Piura, Perú Ultraviolet Radiation Levels, Phenotypes, and Infrastructure», vol. 1621, pp. 40-49, 2017.
- [5] J. E. Roberts, «Ocular phototoxicity», *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, vol. 64, n.º 2-3, pp. 136-143, 2001.
- [6] B. B. Lonsberry, E. Wyles, D. Goodwin, L. Casser, y N. Lingel, *Diseases of the Cornea*, Fifth Edit. Elsevier Inc., 2008.
- [7] E. C. De Fabo, F. P. Noonan, T. Fears, y G. Merlino, «Advances in Brief Ultraviolet B but not Ultraviolet A Radiation Initiates Melanoma», *Cancer Res.*, vol. 64, pp. 6372-6376, 2004.
- [8] M. Norval, «The Effect of Ultraviolet Radiation on Human Viral Infections», *Photochem. Photobiol.*, vol. 82, n.º 6, pp. 1495-1504, nov. 2006.
- [9] D. S. Berger y F. Urbach, «A CLIMATOLOGY OF SUNBURNING ULTRAVIOLET RADIATION», *Photochem. Photobiol.*, vol. 35, n.º 2, pp. 187-192, feb. 1982.
- [10] S. G. Parker y B. L. Diffey, «The transmission of optical radiation through human nails», *Br. J. Dermatol.*, vol. 108, pp. 11-16, 1982.
- [11] A. Tanskanen *et al.*, «Validation of daily erythemal doses from Ozone Monitoring Instrument with ground-based UV measurement data», *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 112, pp. 1-15, 2007.
- [12] V. E. Fioletov, L. J. B. McArthur, T. W. Mathews, y L. Marrett, «On the relationship between erythemal and vitamin D action spectrum weighted ultraviolet radiation», *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, vol. 95, n.º 1, pp. 9-16, abr. 2009.
- [13] D. Souza Correa, H. Suárez, y G. Salazar, «Modelo de Madronich del Índice UV en Salta», *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.*, vol. 19, pp. 8-123, 2015.
- [14] S. Jacquet y G. Bratbak, «Effects of ultraviolet radiation on marine virus-phytoplankton interactions», *FEMS Microbiol. Ecol.*, vol. 44, n.º 3, pp. 279-289, jun. 2003.
- [15] M. Sweet, N. Kirkham, M. Bendall, L. Currey, J. Bythell, y M. Heupel, «Evidence of melanoma in wild marine fish populations», *PLoS One*, vol. 7, n.º 8, ago. 2012.
- [16] 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, feb. 2002.
- [17] L. Zhang, L. Hartwell, A. Jr, M. M. Vaughan, B. A. Hauser, y K. J. Boote, «Agricultural and Forest Meteorology Solar ultraviolet radiation exclusion increases soybean internode lengths and plant height», *Agric. For. Meteorol.*, vol. 184, n.º July 2011, pp. 170-178, 2014.
- [18] B. A. Kunz, D. M. Cahill, P. G. Mohr, M. J. Osmond, y E. J. Vonarx, «Plant Responses to UV Radiation and Links to Pathogen Resistance», *Int. Rev. Cytol.*, vol. 255, n.º 06, pp. 1-40, 2006.
- [19] F. Li, S. Peng, B. Chen, y Y. Hou, «Acta Oecologica Original article 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.
- [20] R. P. Sinha y D. P. Häder, «UV-induced DNA damage and repair: A review», *Photochemical and Photobiological Sciences*, vol. 1, n.º 4. The Royal Society of Chemistry, pp. 225-236, 01-abr-2002.
- [21] M. Pahkala, J. Merilä, I. Ots, y A. Laurila, «Effects of ultraviolet-B radiation on metamorphic traits in the common frog *Rana temporaria*», *J. Zool.*, vol. 259, n.º 1, pp. 57-62, ene. 2003.
- [22] X. Liu, C. J. Hurren, y X. Wang, «Compression Properties of Wool and Alpaca Fibres», n.º 4, 1988.
- [23] C. J. R. Verbeek, T. Hicks, y A. Langdon, «Degradation as a result of UV radiation of bloodmeal-based thermoplastics», *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 96, n.º 4, pp. 515-522, 2011.
- [24] B. W. Johnson y R. Mcintyre, «Analysis of test methods for UV durability polymer coatings», *Prog. Org. Coatings* 27, vol. 27, pp. 95-106, 1996.
- [25] V. Mouillet, F. Farcas, y S. Besson, «Ageing by UV radiation of an elastomer modified bitumen», *Fuel*, vol. 87, pp. 2408-2419, 2008.
- [26] CEI, «CIE S 007/E - Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose | Engineering360», 1998.
- [27] «WMO», 2002.
- [28] A. McKinley y B. Diffey, «A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin», *CIE*, vol. 6, pp. 17-22, 1987.
- [29] C. W. Taípe, E. G. Mendoza, y H. H. Flores, «Validation of ultraviolet index data from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) based on measurements from meteorological stations in the city of Puno», *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1841, n.º 1, 2021.
- [30] V. Buchard *et al.*, «Comparison of OMI ozone and UV irradiance data with ground-based measurements at two French sites To cite this version : HAL Id : hal-00328314 Comparison of OMI ozone and UV irradiance data with ground-based measurements at two French sites», *Atmos. Chem. Phys. Discuss. Eur. Geosci. Union*, vol. 8, n.º 2, pp. 4309-4351, 2008.
- [31] M. Antón *et al.*, «Comparison of UV irradiances from Aura / Ozone Monitoring Instrument (OMI) with Brewer measurements at El Arenosillo (Spain) – Part 1 : Analysis of parameter influence», *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, pp. 6797-6827, 2010.
- [32] C. W. Taípe, M. Huílca, E. G. Mendoza, y J. R. Gallegos, «Comportamiento de la columna total de ozono obtenidos por el sensor EPTOMS de la NASA para la ciudad de Puno periodo 2005-2017», *Ing. USBMed*, vol. 10, n.º 2, pp. 25-30, 2019.
- [33] J. Bilbao y A. de Migue, «Erythemal solar irradiance, UVER, and UV index from ground-based data in central Spain», *Appl. Sci.*, vol. 10, n.º 18, 2020.
- [34] M. S. Al-musaylh, M. Ali, y N. Downs, «Multi-step solar UV index prediction using deep learning methods», *Res. Artic.*, 2023.
- [35] A. T. Natasha, «Wearable UV Detector for Real Time UV Index Monitoring», Macquarie University, 2022.
- [36] G. Deog-hyun, Seung-Taek, y L. Jae-Hyun, «DNN Model for Calculation of UV Index at The Location of User Using Solar Object Information and Sunlight Characteristics», *J. Internet Comput. Serv.*, vol. 0170, n.º 2, pp. 29-35, 2022.
- [37] BCRP, «Banco Central De Reserva Del Perú Sucursal Puno Caracterización Del Departamento De Puno 1», 2022.
- [38] C. W. Taípe, U. Yancachajlla, 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.
- [39] «Giovanni - Data Selection». [En línea]. Disponible en: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. [Accedido: 17-feb-2023].
- [40] S. Madronich y S. Flocke, «Theoretical Estimation of Biologically Effective UV Radiation at the Earth's Surface», *Sol. Ultrav. Radiat.*, vol. I, pp. 23-48, 1997.
- [41] M. Iqbal, *An introduction to solar radiation*. Academic Press, 1983.
- [42] J. W. Spencer, «Fourier series representation of the position of the Sun», *Search*, vol. 2, n.º 5, p. 172, 1971.
- [43] 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.
- [44] H. Tabari, «Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates», *Water Resour. Manag.*, vol. 24, n.º 10, pp. 2311-2337, 2010.
- [45] M. Huílca y C. W. Taípe, «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, n.º 1, dic. 2018.
- [46] M. Huílca, C. W. Taípe, y M. Saavedra, «Índice Ultravioleta en la ciudad de Puno para cielos claros», *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Res.*, vol. 19, n.º 2, pp. 211-218, jun. 2017.
- [47] M. Huílca y C. Taípe, «Modelo Parametrico De La Radiación Ultravioleta Global Para Cielos Claros En La Ciudad De Puno», *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Investig.*, vol. 17, n.º 1, pp. 2-11, 2015.