

VALIDACIÓN DE LOS DATOS DE ÍNDICE ULTRAVIOLETA DE OZONE MONITORING INSTRUMENT (OMI) A PARTIR DE MEDIDAS CON BASE EN TIERRA EN LA REGIÓN DE PUNO

Data de aceite: 02/10/2023

Ciro William Taipe Huamán

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,
Perú
<https://orcid.org/0000-0002-6075-5582>

Eva Genoveva Mendoza Mamani

Universidad Nacional del Altiplano, Puno,
Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0587-0753>

Russel Allidren Lozada Vilca

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,
Perú
<https://orcid.org/0000-0002-8915-3964>

Marisol Rojas Barreto

Universidad Nacional del Altiplano, Puno,
Perú
<https://orcid.org/0000-0001-6916-3754>

Leandro Paucara Cahuana

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,
Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0282-7936>

Valeriano Pari Torres

Universidad Continental, Perú
<https://orcid.org/0009-0009-4069-2607>

obtenidas de Ozone Monitoring Instrument (OMI) para la región de Puno, para lo cual sea realizado el análisis de datos de dos estaciones meteorológicas DAVIS Vantage Pro 2 Plus, ubicadas en la ciudad de Juliaca y Puno, considerando los datos de la ciudad de Puno los más adecuados por presentar menor grado de dispersión por los días nublado y parcialmente nublados considerandos para el año 2018. La comparación de datos de índice UV de la estación de Puno y los obtenidos de OMI mostraron una correlación lineal de 0.932 y una sobre estimación de los valores estimado por los datos de OMI por lo cual sea formulado la ecuación de corrección de datos en función a la regresión lineal de a ambos datos, para analizar los datos de los años 2016, 2017 y 2018 encontrando sesgos menor a 1.568 y correlación lineal mayor a 0.848. La evolución del índice UV muestra un claro comportamiento estacional en las dos localidades, tanto para los datos de suelo como para los satelitales, con valores máximos en verano (diciembre y enero) y valores mínimos en invierno (junio y julio). Los resultados de la validación muestran una buena correlación entre los datos satelitales y las medidas con base en tierra, aunque las del OMI sobreestiman las

RESUMEN: La investigación tiene el objetivo de validar datos de índice ultravioleta

de los instrumentos de suelo.

PALABRAS CLAVE: OMI , Índice UV, NASA, Estación meteorológica, Puno

ABSTRACT: The research has the objective of validating ultraviolet index data obtained from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) for the Puno region, for which the analysis of data from two DAVIS Vantage Pro 2 Plus weather stations, located in the city of Juliaca, is carried out. and Puno, considering the data from the city of Puno the most appropriate because it presents a lower degree of dispersion due to cloudy and partly cloudy days considered for the year 2018. The comparison of UV index data from the Puno station and those obtained from OMI showed a linear correlation of 0.932 and an overestimation of the values estimated by the OMI data, for which the data correction equation is formulated based on the linear regression of both data, to analyze the data of the years 2016, 2017 and 2018 finding biases less than 1.568 and linear correlation greater than 0.848. The evolution of the UV index shows a clear seasonal behavior in the two locations, both for soil and satellite data, with maximum values in summer (December and January) and minimum values in winter (June and July). The validation results show a good correlation between the satellite data and the ground-based measurements, although those from the OMI overestimate those from ground instruments.

KEYWORDS: IMO, UV Index, NASA, Weather station, Puno

INTRODUCCIÓN

La radiación solar UV tiene efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos, En la piel la radiación UV causando envejecimiento prematuro, reacciones de tipo alérgicas, como foto-queratitis (Sordo & Gutiérrez, 2013b) , cáncer en la piel (Levels, 2017). En los ojos causa cataratas (Lonsberry, Wyles, Goodwin, Casser, & Lingel, 2008) y afecta al sistema inmunológico (Norval, 2006). 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 (Tanskanen et al., 2007). La exposición no es en toda su magnitud perjudicial, está relacionado con la vitamina D (Souza Correa, Suárez, & Salazar, 2015). Los efectos en la naturaleza como en la agricultura y la vida acuática se presenta en las plantas y peces (Sweet et al., 2012). A la vegetación afectando en su crecimiento (Zhang et al., 2014), en los animales produce quemaduras en su piel (Pahkala, Merilä, Ots, & Laurila, 2003), en la conservación y durabilidad de materiales como el plásticos y la pintura (Verbeek, Hicks, & Langdon, 2011).

En el Perú la *Dirección Nacional de Epidemiología* ha reportado el periodo 2006 y 2010 un total 5975 casos de cáncer a la piel, según este informe el cáncer a la piel ocupa el *cuarto lugar* de frecuencia a nivel nacional (Sordo & Gutiérrez, 2013a).

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) adoptó en 1987 una “curva estándar del eritema” (CEI, 1998) 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 (WMO, 2002), se adopta el Índice UV (UVI) propuesto

por (McKinley & Diffey, 1987), 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 (WHO), por la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP).

Durante las 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 TOMS y OMI de la 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.

Los datos de radiación UV derivados del instrumento OMI han sido ampliamente validados a través de comparaciones con mediciones en tierra. Por ejemplo, Tanskanen y otros (2007) llevaron a cabo una validación de las estimaciones diarias de la OMI en 17 estaciones y 18 instrumentos distribuidos principalmente en Europa septentrional, Grecia, América del Norte, Nueva Zelanda y el sur de la Argentina.

Buchard y otros (2008) validaron los valores de la columna de ozono total y de la radiación UV en estaciones de Francia e Italia, respectivamente. En ambos casos, las diferencias entre los valores diarios de los satélites y los de la tierra siempre fueron superiores al 17% y se atribuyeron principalmente a la carga de aerosoles en la esfera atómica. Antón y otros (2010) llevaron a cabo un amplio estudio de validación de las mediciones de la radiación UV en la estación de Arenosillo en Huelva, en el sur de España, observando que las diferencias relativas entre los valores de la OMI y los valores terrestres oscilaban entre 8% a más del 20% dependiendo de las condiciones de las nubes, la carga de aerosoles y el ángulo del cenit solar. En particular, en lo que respecta al factor del aerosol, la utilización de un método de corrección, que tiene en cuenta los aerosoles absorbentes, permitió reducir entre un 30 y un 40% las diferencias entre las mediciones realizadas por satélite y las realizadas en tierra.

El trabajo de investigación tiene el objetivo de validar datos de índice ultravioleta obtenidas de Ozone Monitoring Instrument (OMI) para la región de Puno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Índice Ultravioleta (IUV)

Es un método para predecir la intensidad con la que la radiación UV solar alcanza la superficie terrestre, orientándonos así sobre las precauciones que deberíamos tomar para evitar una sobreexposición.

La formulación del índice UV solar mundial se basa en el espectro de acción de

esta respuesta biológica, fue definido por (McKinley & Diffey, 1987) 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, según la siguiente ecuación:

$$IUV = k_{er} \int_{0.28}^{0.4} I_{(\lambda)} \varepsilon_{(\lambda)} d\lambda$$

Donde

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

Siendo $I_{(\lambda)}$ es la irradiancia ultravioleta global espectral en una superficie horizontal. k_{er} es una constante igual a 40 m²/W, $\varepsilon_{(\lambda)}$ es el espectro de acción de referencia para el eritema.

Medidas con base a tierra

Las mediciones del índice UV se obtiene de la estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2 Plus mediante el sensor de índice UV, el cual tiene un rango de medida de [0-16] con una resolución de 0.1, en intervalos de 1min con un exactitud de ±5% (Eraso-Checa, Jimenez, Escobar, & Insuasty, 2018), los cuales esta ubicados en las coordenadas geográficas según lo especificadas en la tabla 1 y se observa en la figura 1. Ambos sensores están debidamente calibrados por el proveedor. Los datos estimados por las estaciones fueron en intervalos de 15min para ambas estaciones.

Estación	Ciudad	Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m.)
Estación 1	Juliaca	-15.489063	-70.151594	3,825 m
Estación 2	Puno	-15.824126	-70.018609	3,827 m

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las localidades de medida.

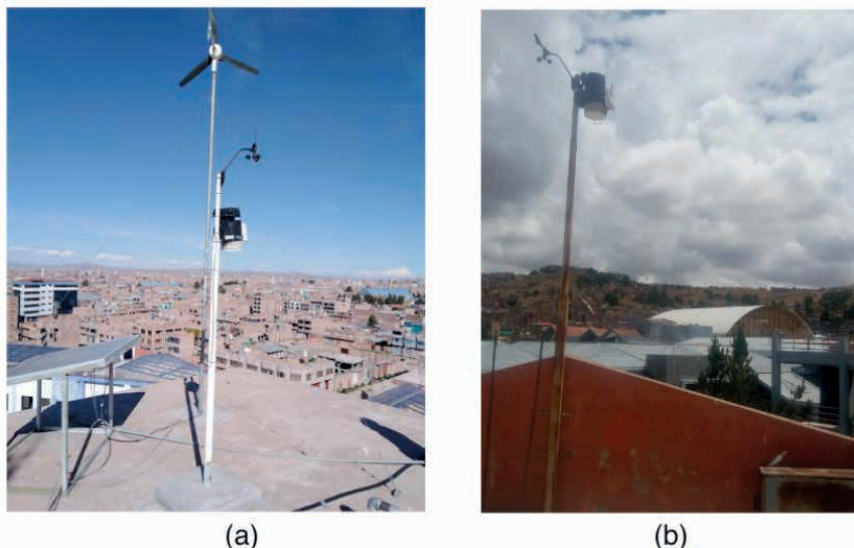


Figura 1. Estación meteorológica DAVIS VANTAGE PRO 2 PLUS (a) Juliaca (b) Puno

La estación 1 está instalado en el pabellón académico de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ) y la estación 2 está instalado en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno (UNAP) ambas estaciones esta instalados en zonas libres de sombras y obstáculos.

Datos Satelitales

El *Ozone Monitoring Instrument* (OMI), es un espectrómetro con visualización nadir a bordo del satélite Aura de la NASA, que describe una órbita helio-sincrónica con una hora de paso por el ecuador de $13:45 \pm 15$ minutos. Este instrumento mide la radiación solar reflejada y la retrodispersada en el rango espectral 270-500 nm con una resolución espectral de 0,55 nm en el UV. Tiene un ancho de barrido de 2600 km que permite una cobertura global diaria con una resolución espacial de $1^\circ \times 1^\circ$. Los productos de OMI incluyen ozono, aerosoles, nubes, radiación UV y gases traza (Levelt et al., 2006). Los datos obtenidos para las estaciones es para el cuadrante de coordenadas -70.540214, -15.982311, -69.540214, -14.982311 como se muestra en la figura 2, donde ambas estaciones se encuentran en el cuadrante.



Figura 2. Cuadrante considerado para obtener datos de satélite

Estadísticos de evaluación

Para evaluar los datos obtenidos del satélite se utilizaron el error estándar promedio o raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE) esto proporciona información sobre el rendimiento a corto plazo y es una medida de la variación de los valores obtenidos del satélite alrededor de los datos medidos por estación meteorológica, el error medio (MBE), llamado también sesgo o desviación, Es una indicación de la desviación media de los valores obtenidos del satélite con respecto a los datos medidos por la estación correspondientes, coeficiente de determinación (R^2) se utiliza para estimar el rendimiento de los datos del satélite y el coeficiente de correlación (r) es para medir la relación lineal entre los valores medidos por la estación con respecto a los obtenidos del satélite (Blal et al., 2020). Están dados por las siguientes ecuaciones:

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

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

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})(I_{si} - \bar{I}_{si})]^2}{[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})^2][\sum_{i=1}^n (I_{si} - \bar{I}_{si})^2]}$$

$$r = \sqrt{R^2}$$

Donde: I_{mi} es el dato medido por la estación meteorológica, I_{si} es el dato obtenido

del satélite, \bar{I}_{mi} es el promedio de los datos medidos por la estación meteorológica, \bar{I}_{si} es el promedio de los datos obtenidos del satélite y n es el número total de observaciones (Tabari, 2010) Turc, Priestley-Taylor and Hargreaves

RESULTADOS

En la figura 3 se muestra valores medidos máximo al medio día solar del índice UV para el año 2018, por las estación 1 de Juliaca y estación 2 de Puno, donde se observa el comportamiento cíclico de los valores de índice UV como lo afirma (Alfaro Lozano, Llacza Rodríguez, & Sánchez Ccoyllo, 2016; Souza Correa et al., 2015), para las dos estaciones meteorológicas, y los valores máximos, considerados muy altos y extremo (Javier et al., 2011) se presentan en la estación de verano. En la figura 4 se muestra la comparación valores medidos por las dos estaciones, observándose la dispersión de 365 datos, la correlación de datos la calculamos mediante el coeficiente de correlación lineal $r=0.76$, este valor nos indica que se presenta una correlación lineal de 76% de datos, es debido a que sea considerados datos de días nublados, parcialmente nublados y días despejados para ambas estaciones y también considerar que el valor máximo registrado por las estaciones es de 16 esto debido al rango de medida de los sensores de las estaciones meteorológicas.

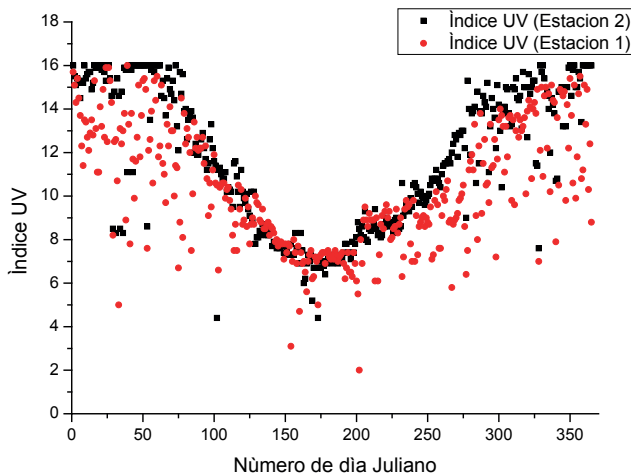


Figura 3. Valores medidos de indice UV por las estaciones 2 y 1 del año 2018

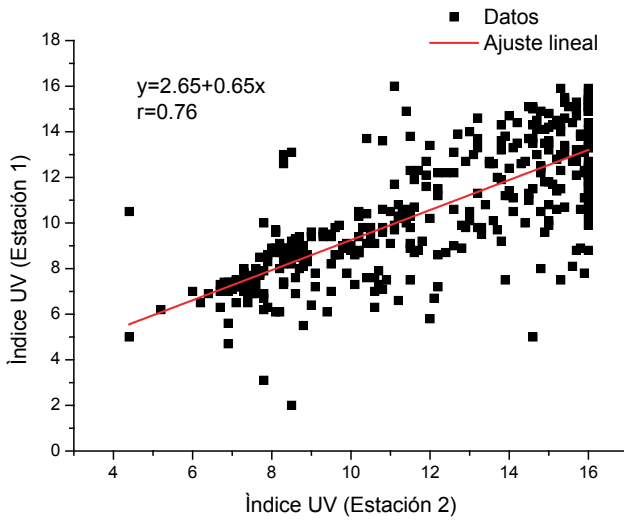


Figura 4. Comparación de valores medidos de índice UV para estación 1 y 2.

Se observa en la figura 3, que el número de días despejados (sin nubes) es mayor para la estación 2 comparado con los de la estación 1, por ello, estos datos lo utilizamos para realizar la comparación con los datos obtenidos del satélite Aura del espectro OMI los cuales se muestran en la figura 5, donde se observa una sobre estimación de los valores del índice UV comparados con los estimados en la estación de la ciudad de Puno y esto está de acuerdo a los trabajos realizados por (Antón et al., 2010; Buchard et al., 2008) donde establece una sobre estimación de 17 a 40%. Los datos obtenidos del satélite son en número de 225 datos para el año 2018.

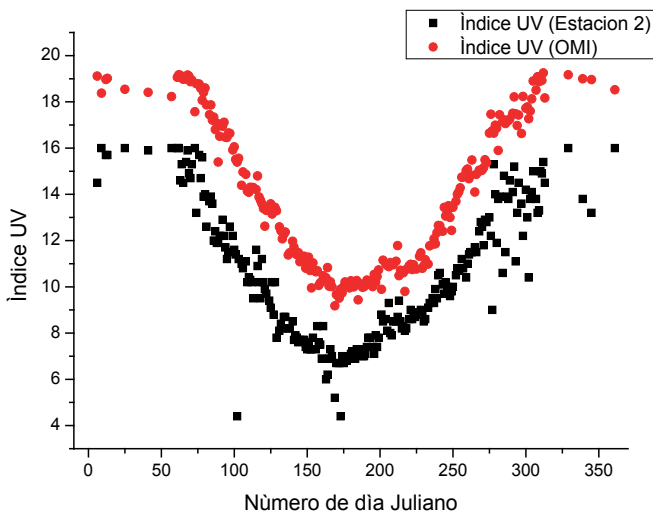


Figura 5. Valores de índice UV de satélite OMI y estación 2.

La comparación de los datos obtenidos de satélite Aura con respecto a los datos estimado en la estación de la ciudad de Puno se muestra en la figura 6, donde se observa la dispersión de datos con una correlación de lineal de $r=0.93$, lo que indica que existe una correlación lineal de los datos del 93% de los datos considerados en el análisis, por ello se obtiene la ecuación lineal de relación de datos para la estimación del índice UV para la región de Puno a partir de los datos obtenidos del satélite Aure OMI siguiendo los criterios de los trabajo (Nolasco, Sayago, & Bocco, 2018; Sibilia & Sayago, 2017) el cual se muestra en la figura 6.

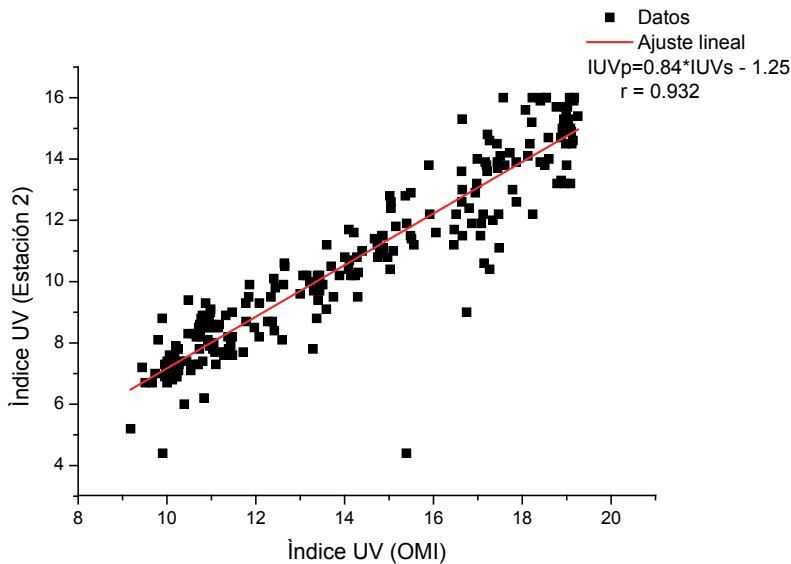


Figura 6. Coeficiente de correlación lineal y ecuación de relación

La ecuación obtenida para la estimación del Índice UV para la región de Puno mediante una correlación lineal es la siguiente:

$$IUVp = 0.84 \times IUVs - 1.25 \quad (1)$$

Donde, IUVp es el valor de índice UV para la región de Puno estimados en función a los datos satelitales, IUVs es el valor estimado del índice UV por el satélite Aure OMI.

Esta ecuación nos permitirá estimar valores de índice UV para fechas en los cuales no se registró datos en las estaciones terrestres, para la confiabilidad de los datos estimados sea realizado cálculo de estadísticos que se muestran en la tabla 2 para los años 2016, 2017 y 2018 de los valores máximos de índice UV al medio día solar del índice UV, estimados por la ecuación (1) valores medidos por la estación 2 los cuales se muestran en la tabla 2, donde la mejor correlación de datos es para el año 2018 con $r = 0.932$ y la mejor es para el año 2017 de $r = 0.848$ esto debido a las características climáticas de la región, donde se presentan días nublados y parcialmente nublados donde el MBE para el año 2017 es mayor a lo comprados a los otros dos años.

Años	MBE	RMSE	R ²	R
2016	0.824	1.714	0.863	0.929
2017	1.568	1.645	0.719	0.848
2018	1.055	1.051	0.868	0.932

Tabla 2, Estadísticos de comparación

DISCUSIÓN

Los valores estimados por las estaciones en la ciudad de Juliaca y Puno para el año 2018, muestran valores máximos para los meses de diciembre y enero y valores mínimos para los meses de mayo y junio este resultado es debido a la posición tierra- sol como lo indica (Iqbal, 1983), en el cual se observa un comportamiento cíclico presentándose valores máximos para la época de verano y valores mínimos para la época de invierno. La correlación de datos de las estaciones de Juliaca y Puno muestran una correlación de 0.76 esto es debido a las ubicaciones de las estaciones, así como a las condiciones climáticas que se presentan, como la presencia de cielos nublados y parcialmente nublados y también la presencia de vientos en la ciudad de Juliaca y en la ciudad de Puno la cual se encuentra a las orillas del lago Titicaca estos aspectos intervienen en la medición (Blal et al., 2020).

Los valores estimados por el satélite, muestran una sobre estimación de 1.568 con respecto a los datos de la estación 2 como se muestra en la tabla 2, este resultado este de acuerdo a los trabajos (Antón et al., 2010; Buchard et al., 2008) y es debido a acumulación de aerosoles, y considerar el efecto de lago Titicaca frente a la estación meteorológica como lo indica el trabajo (Matias Huillca & Taipe, 2015).

Se logra estimar las índice ultravioleta en función a la ecuación de corrección de los datos los cuales son semejantes a las medidas realizadas en tierra realizando una comparación de datos se obtiene un coeficiente de 0.9835 los cuales nos indica que es posible estimar datos de satélite con una confiabilidad de 98% de certeza, estos datos está de acuerdo a las estimaciones realizadas por los autores (Matias Huillca, 2013; Matías Huillca, Taipe, & Saavedra, 2017) los cuales logran estimar valores máximos de 14.4 aplicando métodos espectral y modelos empíricos dependientes de la columna de ozono y datos geográficos.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se han validado datos de Índice UV al medio día solar obtenidos con el OMI para el periodo 2016 a 2018 utilizando medida con base en tierra en la ciudad de Puno estación 2. Las medidas con base en tierra fueron realizadas con la estación meteorológica DAVIS Vantage Pro2.

La evolución del índice UV muestra un claro comportamiento estacional, tanto para los datos de estación terrestre como para los satelitales, con valores máximos en verano, y valores mínimos en invierno. En general, aunque existe una buena correlación entre los datos satelitales y de estación terrestre, se observa que las medidas de satélite sobreestiman las medidas con base en tierra, siendo la diferencia entre los datos satelitales y los de suelo máxima para los meses de primavera y verano, y mínima en los meses de otoño e invierno.

REFERENCIAS

Alfaro Lozano, L., Llacza Rodriguez, A., & Sánchez Ccoyllo, O. (2016). *Pronóstico con cobertura nacional del índice de radiación solar ultravioleta*.

Antón, M., Cachorro, V. E., Vilaplana, J. M., Toledano, C., Krotkov, N. A., Arola, A., ... De la Morena, B. (2010). Comparison of UV irradiances from Aura / Ozone Monitoring Instrument (OMI) with Brewer measurements at El Arenosillo (Spain) – Part 1 : Analysis of parameter influence. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 6797-6827.

Blal, M., Khelifi, S., Dabou, R., Sahouane, N., Slimani, A., Rouabhia, A., ... Tidjar, B. (2020). 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. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 152, 107348. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107348>

Buchard, V., Brogniez, C., Auriol, F., Bonnel, B., Lenoble, J., Tanskanen, A., ... Lenoble, J. (2008). 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. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, European Geosciences Union*, 8(2), 4309-4351.

CEI. (1998). *CIE S 007/E - Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose I Engineering360*.

Eraso-Checa, F., Jimenez, J. B., Escobar, D., & Insuasty, S. (2018). Global radiation estimation using a polynomial function on UV index. *Proceedings of the 2018 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition - Latin America, T and D-LA 2018*. <https://doi.org/10.1109/TDC-LA.2018.8511791>

Huillca, Matias. (2013). Modelo de la radiación solar UV-B para la ciudad de Puno. *Revista Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Investigation*, 15(01), 55-63. <https://doi.org/10.18271/ria.2013.16>

Huillca, Matias, & Taipe, C. (2015). Modelo Parametrico De La Radiación Ultravioleta Global Para Cielos Claros En La Ciudad De Puno. *Revista Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Investigation*, 17(1), 2-11. <https://doi.org/10.18271/ria.2015.89>

Huillca, Matías, Taipe, C. W., & Saavedra, M. (2017). Índice Ultravioleta en la ciudad de Puno para cielos claros. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 19(2), 211-218. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.280>

Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press.

Javier, A., Aguilera, C., Higuera, J. E., Manuel, C., González, R., Arriaga Álvarez, E., ... Arriaga Álvarez, E. (2011). El índice ultravioleta en el ámbito laboral: un instrumento educativo. En *Med Segur Trab (Internet)* (Vol. 57).

Levels, U. R. (2017). *fenotipos e infraestructura de protección solar en instituciones educativas de Piura , Perú Ultraviolet Radiation Levels , Phenotypes , and Infrastructure*. 1621, 40-49.

- Levelt, P. F., Oord, G. H. J. Van Den, Dobber, M. R., Mälkki, A., Visser, H., Vries, J. De, ... Saari, H. (2006). The Ozone Monitoring Instrument. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(5), 1093-1101. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.872333>
- Lonsberry, B. B., Wyles, E., Goodwin, D., Casser, L., & Lingel, N. (2008). Diseases of the Cornea. En *Clinical Ocular Pharmacology* (Fifth Edit). <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7576-5.50031-8>
- McKinley, A., & Diffey, B. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE*, 6, 17-22.
- Nolasco, M., Sayago, S., & Bocco, M. (2018). Un modelo lineal para estimar radiación solar global en la provincia de Córdoba a partir de datos satelitales CERES _ SYN1. En S. A. de I. e I. Operativa (Ed.), *CAI, Congreso Argentino de Agroinformática* (pp. 216-223).
- Norval, M. (2006). The Effect of Ultraviolet Radiation on Human Viral Infections. *Photochemistry and Photobiology*, 82(6), 1495-1504. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2006.tb09805.x>
- Pahkala, M., Merilä, J., Ots, I., & Laurila, A. (2003). Effects of ultraviolet-B radiation on metamorphic traits in the common frog *Rana temporaria*. *Journal of Zoology*, 259(1), 57-62. <https://doi.org/10.1017/S0952836902002984>
- Sibilia, S., & Sayago, S. (2017). Redicación solar diaria a partir de un modelo de estimación y datos de satélite. *CAI, Congreso Argentino de Agroinformática*, 13-19.
- Sordo, C., & Gutiérrez, C. (2013a). Cáncer de piel y radiación solar: Experiencia peruana en la prevención y detección temprana del cáncer de piel y melanoma. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30(1), 113-117. <https://doi.org/10.1590/S1726-46342013000100021>
- Sordo, C., & Gutiérrez, C. (2013b). Cáncer de piel y radiación solar: experiencia peruana en la prevención y detección temprana del cáncer de piel y melanoma. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30(1), 113-117. <https://doi.org/10.1590/S1726-46342013000100021>
- Souza Correa, D., Suárez, H., & Salazar, G. (2015). Modelo de Madronich del Índice UV en Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 19, 8-123.
- Sweet, M., Kirkham, N., Bendall, M., Currey, L., Bythell, J., & Heupel, M. (2012). Evidence of melanoma in wild marine fish populations. *PLoS ONE*, 7(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041989>
- Tabari, H. (2010). Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates. *Water Resources Management*, 24(10), 2311-2337. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9553-8>
- Tanskanen, A., Lindfors, A., Ma, A., Krotkov, N., Herman, J., Kaurola, J., ... Tamminen, J. (2007). Validation of daily erythemal doses from Ozone Monitoring Instrument with ground-based UV measurement data. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112, 1-15. <https://doi.org/10.1029/2007JD008830>
- Verbeek, C. J. R., Hicks, T., & Langdon, A. (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.polymerdegradstab.2011.01.003WMO>. (2002).

Zhang, L., Hartwell, L., Jr, A., Vaughan, M. M., Hauser, B. A., & Boote, K. J. (2014). Agricultural and Forest Meteorology Solar ultraviolet radiation exclusion increases soybean internode lengths and plant height. *Agricultural and Forest Meteorology*, 184(July 2011), 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.011>