

## Estimación y análisis del índice ultravioleta en la ciudad de Puno durante el periodo de setiembre del 2015 a setiembre del 2016

### Estimation and analysis of the ultraviolet index in Puno city during the period from september 2015 to September 2016

Matías Huilca Arbieto

*mahuar0416@gmail.com – Universidad Nacional del Altiplano*

Ciro Taipe Huamán

*cwtaipe@gmail.com – Universidad Nacional de Juliaca*

#### Resumen

La región altiplánica es una extensa planicie de altura que abarca el norte de Argentina, parte del norte de Chile, occidente de Bolivia y parte del sur del Perú. Esta región se caracteriza por superar el valor de 20 en el Índice de Radiación Ultravioleta (IUV) y según la Organización Mundial de la Salud (OMS) este valor refleja un alto riesgo de eritema en las personas, es por ello que es necesario realizar el monitoreo permanente de la radiación ultravioleta en el Perú. En el presente estudio se realiza la estimación y análisis del IUV en la ciudad de Puno durante el periodo de setiembre del 2015 a setiembre del 2016 utilizando los registros de la estación radiométrica automática y certificada ubicada en la Universidad Nacional del Altiplano, aplicando las metodologías planteadas por Iqbal (1983) y Bird & Riordan (1986). Para las estimaciones del modelo se escogieron aleatoriamente 6 días sin presencia de nubosidad durante el periodo de estudio, donde los resultados muestran una buena correspondencia entre el modelo utilizado y las mediciones de campo, siendo la correlación 0.99 en promedio. Además, el modelo permitió estimar el coeficiente de turbiedad de Angstrom (beta) el cual se encuentra en el rango de 0.1 a 0.32 durante las mediciones anuales. Así mismo, se estimaron los valores de radiación ultravioleta de tipo A y B, que corresponden a 76.4% y 23.6% respectivamente. Finalmente, los resultados muestran que los valores IUV máximo diario promedio se presentan durante los meses octubre 2015 a febrero de 2016, este comportamiento probablemente esté relacionado con el cambio estacional y la declinación. Los resultados del presente estudio servirán como material informativo y de alerta para que se tomen medidas preventivas en los meses de radiación máxima.

**Palabras claves:** *Radiación solar, Espesor de la capa de ozono, Coeficiente de turbidez.*

#### Abstract

The altiplánica region is a broad lowland of height that includes the north of Argentina, the north part of Chile, the west of Bolivia and the south part of Peru. This region is characterized by exceeding the value of 20 in the Ultraviolet Radiation Index (URI) and according to the World Health Organization (WHO) this value reflects a high risk of erythema in people, therefore, it is necessary to perform permanent monitoring of ultraviolet radiation in Peru. In the present study, the estimation and analysis of the IUV is carried out in Puno city during the period from September 2015 to September 2016 using the records of the automated and certified radiometric station located at the Altiplano Public University, applying the methodologies proposed by Iqbal (1983) and Bird & Riordan (1986). For the model estimates 6 days were randomly chosen without the attendance of cloudiness during the study period, where the results show a worthy correspondence between the used model and the field measurements, with an average correlation of 0.99. In addition, the model allowed estimating the Angstrom turbidity coefficient (beta) which is in the range of 0.1 to 0.32 during the annual measurements. Furthermore, the ultraviolet radiation values of type A and B were estimated, which ones correspond to 76.4% and 23.6% respectively. Finally, the results show the daily maximum IUV values average are presented during the months October 2015 to February 2016, this behavior is probably related to the seasonal change and the decline. The results of this study will serve as informative and warning material so that preventive measures are taken in the months of maximum radiation.

**Keywords:** *Solar radiation, Thickness of the ozone layer, Turbidity coefficient.*

**Como citar:** Huilca-Arbieto, M. & Taipe-Huamán, C. W. (2018) Estimación y análisis del índice ultravioleta en la ciudad de Puno durante el periodo de setiembre del 2015 a setiembre del 2016. *ÑAWPARISUN – Revista de Investigación Científica*, 1(1), 13-20.

## Introducción

La incidencia de radiación solar ultravioleta (UV) en una determinada localidad depende de muchos parámetros como la latitud, altitud, nubosidad, albedo, ángulo cenital, concentración de ozono y aerosoles en la atmósfera. La concentración del ozono en la atmósfera varía con la ubicación geográfica (latitud y longitud). En general el ozono se forma principalmente en la zona ecuatorial y aumenta su concentración hacia los polos (Albizzati, Rossetti, & Alfano, 2002).

La radiación UV se divide en tres regiones según la longitud de onda medida en nanómetros (nm), donde mientras más corta sea la longitud de onda mayor energía tendrá la radiación. Estas tres (03) subregiones de radiación UV son:

UVC[100–280]nm; UVB[280–315]nm; UVA[315–400]nm.

El Índice Solar Ultravioleta (IUV) se define como la irradiancia solar eritémica a medio día dividida por  $0.025(w/m^2)$ . Según el informe de la Organización

Mundial de la Salud (OMS) (2003) los valores del IUV se dividen en la siguiente escala.

Tabla 1.

Valores del IUV. Organización Mundial de la Salud (2003).

Nivel de riesgo	Valor IUV
Baja	[0 a 2]
Moderada	[3 a 5]
Alta	[6 a 7]
Muy alta	[8 a 10]
Extremadamente alta	[11 a 20]

El espectro solar ultravioleta entraña cierto riesgo por los efectos negativos que produce en la mayor parte de los seres vivos (Leffell & Brash, 1996; Hoppe, & otros, 1996). Dosis superiores a las consideradas como *normales*, producen graves daños en los sistemas vegetales por la alteración de sus funciones clorofílicas, los efectos más amplios son las disminuciones de cosechas y fitoplancton marino. En lo que se refiere a los animales los daños producidos afectan a diversos órganos principalmente por la aparición de patologías oculares y pérdida del sistema inmunológico. En el caso de los seres humanos, se manifiestan en numerosas disfunciones de la piel, siendo la más grave el melanoma cancerígeno. Una sobreexposición a este tipo de radiación provoca también graves alteraciones en el ADN genético (Calle, Perez, & Casanova, 1999).

## Materiales y métodos

La ciudad de Puno está ubicada en el departamento del mismo nombre a una altura de 3825 m.s.n.m. Parte del año los cielos están despejados, también hay cielos parcial o totalmente despejados dependiendo de la estación el año. Para el presente estudio se utilizaron los datos registrados desde setiembre del 2015 hasta setiembre del 2016 por la estación meteorológica DAVIS INSTRUMENTS, modelo VANTAGE PRO 2 PLUS instalada en la Universidad Nacional del Altiplano (UNA) la cual tiene el mantenimiento y la calibración certificada por el fabricante desde agosto del 2015. El radiómetro UV mencionado, mide la radiación solar en el rango espectral [290–390]nm que correspondería a la radiación UV tipo B además mide el IUV en un rango de [0–16], con una resolución de 0.1 y una precisión del 5% (Figura 1). Los datos son enviados en forma inalámbrica a la consola, el cual registra y almacena en su memoria interna (Figura 2).

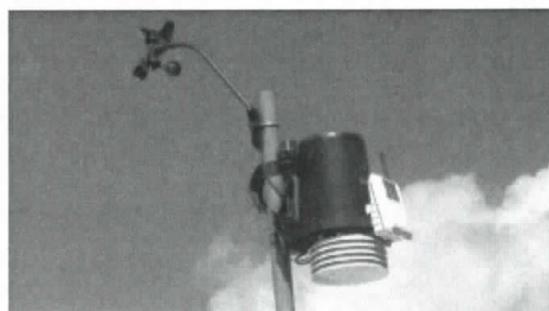


Figura 1. Estación meteorológica DAVIS INSTRUMENTS - UNA, Puno.

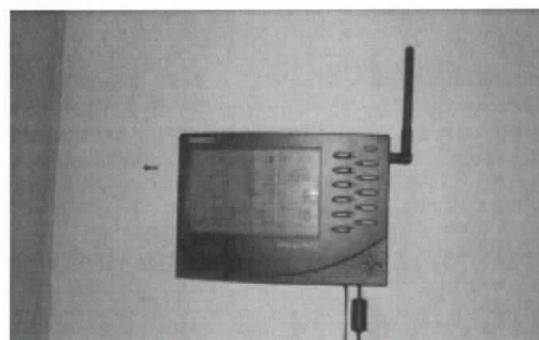


Figura 2. Consola de almacenamiento de datos - UNA, Puno.

Para la validación del modelo se eligió de forma aleatoria 6 días sin presencia de nubosidad que corresponden al 26 de agosto, 7 de setiembre, 9 de octubre, 19 de noviembre, 15 de diciembre y el 15 de enero del 2016. Los datos del espesor de la capa de ozono son registrados por los equipos TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)/NASA y OMI (Ozono Monitoring Instrumente)/Aura Spacecraft a bordo del Earth Probe, los cuales se puede acceder

a ellos de forma libre y gratuita vía: <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/tools/ozonemap/>  
 Por otro lado se han seleccionado 227 días totalmente despejados o parcialmente nublados antes o después del medio día solar, para estimar el comportamiento anual de los aerosoles relacionado con el parámetro beta.

Haciendo uso de las pruebas estadísticas de regresión lineal, se analiza el IUV proporcionada por el modelo y se contrasta con las mediciones.

**Modelo de Índice de radiación UV**

Para evaluar el IUV en la ciudad de Puno se aplicaron la metodologías planteadas por Iqbal (1983) y Bird y Riordan (1986), donde utilizan parámetros como la irradiancia solar directa, transmitancia de Rayleigh, transmitancia de aerosoles, transmitancia del ozono, irradiancia difusa, irradiancia múltiple y coeficiente de acción eritemática, los cuales se detallan a continuación.

La *Irradiancia solar directa* recibida en la superficie terrestre está definida por:

$$I_D = I_{0\lambda} E_0 T_{ra} T_{oa} T_{o\lambda} \cos(z) \tag{1}$$

Donde:

$I_{0\lambda}$  : Es la irradiancia solar extraterrestre UV a la distancia media tierra-sol, su valor aproximado es el 7.2% de la radiación solar: de este porcentaje 5.1% corresponde al UV-A: 1.3% al UV-B y 0.8% al UV-C (Tena & Utrillas, 1998).

$E_0$  : Es el factor de corrección para distancia tierra sol (Spencer, 1971).

$z$  : El ángulo cenital y se relaciona con el ángulo horario  $\omega$  por la siguiente relación:

$$\cos z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega,$$

donde  $\delta$  es la declinación que varía para cada día,  $\phi$  es la latitud del lugar para nuestro caso

$$\phi = -15.83^\circ .$$

La *transmitancia de Rayleigh* está dado por

$$T_{ra} = \exp(-0.008735 \lambda^{-4.08} . m_a) , \tag{2}$$

donde:  $m_a$  es la masa de aire corregida y está dada por la expresión  $m_a = m_r P/P_0$  , mientras que la masa de aire óptica relativa  $m_r$  , dado por Kasten (1966) se expresa como:

$$m_r = \frac{1}{\cos(z\pi/180) + 0.15(93.885 - z)^{-1253}} \tag{3}$$

$P$ , es presión del lugar y  $P_0 = 1013.25\text{mb}$  es la presión a nivel del mar. La fórmula empírica utilizada es  $P = P_0 \exp(-h/8.62)$  , donde  $h = 3.827\text{km}$  es la

altitud en la ciudad de Puno, el factor 8.62 está en km , luego  $P = 646.5272\text{mb}$  .

*Transmitancia de aerosoles* se expresa como:

$$T_{\lambda} = \exp(-\beta \lambda^{-\alpha} m_a) \tag{4}$$

$\beta \lambda^{-\alpha}$  es la relación de Angstrom (1961), el parámetro  $\alpha$  es un exponente estrechamente reaccionado con el tamaño y la forma de las partículas, varía desde  $1.3 \pm 0.5$  (Iqbal, 1983);  $\beta$  es denominado coeficiente de turbiedad de angstrom es proporcional a la cantidad de materia presente en una columna vertical de sección unitaria, varía desde [0 hasta 0.4] (Iqbal, 1983)

*Transmitancia del ozono* está dado por la siguiente expresión:

$$T_{o\lambda} = \exp(-u_0 A_{o\lambda} m_o) \tag{5}$$

$u_0 = (\text{atm} - \text{cm})$  Es el espesor de capa de ozono en Unidades Dobson (UD);  $A_{o\lambda}$  es el coeficiente de absorción de ozono, se ha utilizado los valores de (Iqbal, 1983). La masa óptica del ozono dado por Robinson (1966) se expresa como:

$$m_o = \frac{1 + (\xi_3/r_e)}{[\cos^2 z + 2(\xi_3/r_e)]^{0.5}} \tag{6}$$

Donde  $\xi_3 = 18.175\text{km}$  es la altura de la capa de ozono desde la estación radiométrica ( $h = 3.825\text{km}$ ), hasta el borde Superior de la atmósfera. La capa de ozono a nivel del mar es aproximadamente 22km ;  $r_e = 6370\text{km}$  es el radio de la tierra *Irradiancia Difusa*, para determinar la irradiancia solar difusa hemos seguido el modelo expuesto por Bird (Bird & Riordan, 1986) que considera tres procesos de difusión fundamentales, como la dispersión de Rayleigh, dispersión aerosol y del albedo terrestre respectivamente, la expresión es:

$$I_{d\lambda} = I_{dr\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda} \tag{7}$$

*Irradiancia difusa debido a la dispersión de Rayleigh*, se trata de la irradiancia UV difusa espectral producida por la dispersión de Rayleigh que llega después haber sufrido procesos de absorción en la atmósfera. Se determina de la ecuación propuesta por (Bird & Riordan, 1986) y (Iqbal, 1983).

$$I_{dr\lambda} = I_{0\lambda} E_0 \cos(z) T_{o\lambda} [0.5(1 - T_{ra}) T_{a\lambda}] \tag{8}$$

*Irradiancia difusa debido a la dispersión de Aerosoles*, se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

$$I_{\text{da}\lambda} = I_{0\lambda} E_0 \cos(z) T_{0\lambda} [F_c w_0 (1 - T_{a\lambda}) T_{r\lambda}] \quad (9)$$

El factor  $F_c$  es la energía dispersada hacia el suelo entre energía total dispersada, la determinación de  $w_0$  es casi imposible, está relacionada con el material, forma, tamaño y propiedades ópticas de las partículas de aerosol. Es común asignar un valor fijo y arbitrario a  $w_0$  y es invariante con longitud de onda, normalmente está entre 0,7 y 1,0 (Iqbal, 1983) *Irradiancia Múltiple*, está dado por:

$$I_{\text{dm}\lambda} = (I_D \cos(z) + I_{\text{dr}\lambda} + I_{\text{da}\lambda}) (\rho_{\text{gr}} \rho_{\text{a}\lambda} / (1 - \rho_{\text{gr}} \rho_{\text{a}\lambda})) \quad (10)$$

El albedo se define como la proporción de la energía reflejada respecto a la energía incidente.

$\rho_{\text{gr}}$  es el albedo del suelo y se asume el valor de 0.2, es invariante con la longitud de onda,  $\rho_{\text{a}\lambda}$  es el albedo debido a la atmósfera, su valor es muy pequeño y su expresión está dado por

$$\rho_{\text{a}\lambda} = T_{0\lambda} [0.5(1 - T_{r\lambda}) T_{a\lambda} + (1 - F_c) w_0 (1 - T_{a\lambda}) T_{r\lambda}] \quad (11)$$

El primer término del lado derecho representa el albedo de Rayleigh y el segundo el albedo de los aerosoles (Bird & Riordan, 1986). Reemplazando las ecuaciones (8), (9) y (10) en (7) tenemos la irradiancia global:

$$I_t = \frac{[E_0 T_{0\lambda} T_{a\lambda} T_{0\lambda} + T_{0\lambda} [0.5(1 - T_{r\lambda}) T_{a\lambda}] + T_{0\lambda} [F_c w_0 (1 - T_{a\lambda}) T_{r\lambda}]] I_{0\lambda} \cos(z)}{1 - \rho_{\text{gr}} \rho_{\text{a}\lambda}} \quad (12)$$

*Coficiente de Acción Eritématica*, fue establecido por McKinlay y Diffey (McKinlay & Diffey, 1987), los valores espectrales  $\varepsilon(\lambda)$  vienen expresado por:

$$\varepsilon = \begin{cases} \lambda < 0.298\mu\text{m} & \varepsilon = 1 \\ 0.298\mu\text{m} < \lambda \leq 0.328 & \varepsilon = 10^{0.094(298-1000/\lambda)} \\ 0.328 < \lambda \leq 0.400 & \varepsilon = 10^{0.015(139-1000/\lambda)} \\ 0.400 < \lambda & \varepsilon = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Finalmente el índice de radiación ultravioleta (IUV) se integra de 280 a 400 nm y se determina por:

$$IUV = 40 \int_{280}^{400} \varepsilon(\lambda) I_t d\lambda \quad (14)$$

Esta expresión se programa ya sea en Fortran o MATLAB u otro lenguaje de programación *Relación entre el Tiempo solar Verdadero y la Hora local*, esta relación entre la hora local y la hora solar verdadera (Iqbal, 1983) es la siguiente:

$$LAT = TSM + 4(L_s - L_l) + E_t \quad (15)$$

LAT es la hora solar verdadera; TSM es la hora local u hora solar media que se expresa en horas;  $L_s = 75^\circ W$  es el meridiano para el Perú;  $L_l = 70.03^\circ W$  es el meridiano para la ciudad de Puno,  $E_t$  es la ecuación del tiempo varia cada día, se expresa en minutos Declinación, dado por formula de Spencer

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 * \cos \Gamma + 0.070257 * \sin \Gamma - 0.006758 * \cos 2\Gamma + 0.000907 * \sin 2\Gamma - 0.002697 * \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma) (180/\pi) \quad (16)$$

En la ecuación anterior  $\Gamma$  se denomina ángulo diario, expresado en radianes y se calcula a partir de la siguiente relación

$$\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/365 \quad (17)$$

Donde  $d_n$  corresponde al número del día juliano del año  $1 \leq d_n \leq 365$  variando desde 1 para el primero de enero, hasta 365 para el 31 de diciembre. La relación entre el ángulo horario y la hora solar verdadera (Varo Martinez, 2006) se expresa como:

$$\omega = \frac{360}{24} (LAT - 12) = 15(LAT - 12)^\circ \quad (18)$$

## Resultados y discusión

En esta sección se muestran los resultados del IUV obtenido a partir del modelo espectral, comparándolos con los datos medidos por la estación meteorológica.

Se realizó la correlación de los valores calculados y los valores estimados los cuales se muestran en las figuras 3, 4, 5, 6 y 7, donde en general el valor de r es de 0.99 lo cual indica que existe una buena correlación entre las mediciones y la estimación.

El valor del IUV máximo diario calculado para el día 28 de agosto del 2015 se presenta a las 12 pm y es de 11, valor que correspondería a un nivel de riesgo extremadamente alto según la escala de la OMS (Figura 3).

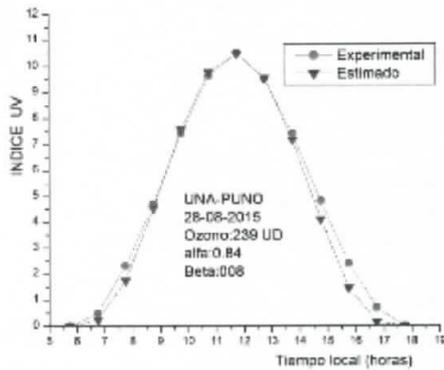


Figura 3. IUV experimental y estimado para 28 de agosto 2015  
El valor del IUV máximo diario calculado para el día 9 de octubre del 2015 se presenta a las 12 pm y es de 13, valor que correspondería a un nivel de riesgo extremadamente alto según la escala de la OMS (Figura 4).

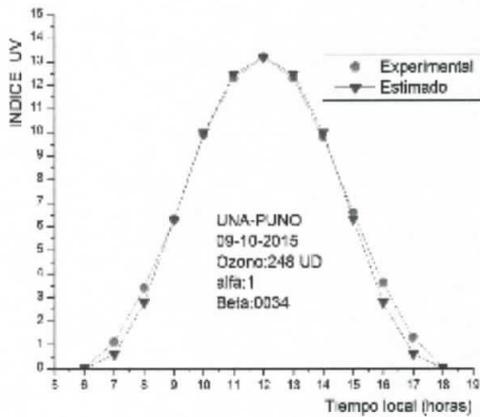


Figura 4. Índice UV experimental y estimado para 9 de octubre 2015

El valor del IUV máximo diario calculado para el día 19 de noviembre del 2015 se presenta a las 12 pm y es de 13, valor que correspondería a un nivel de riesgo extremadamente alto según la escala de la OMS (Figura 5).

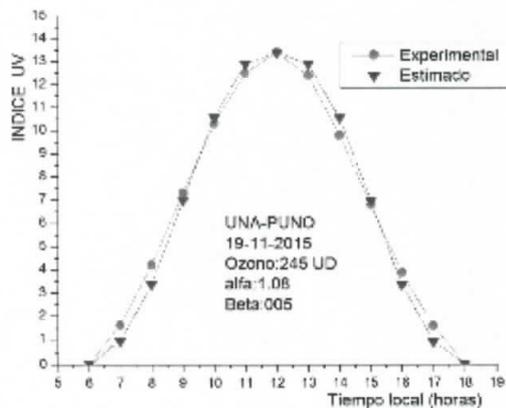


Figura 5. Índice UV experimental y estimado para 19 de noviembre 2015

El valor del IUV máximo diario calculado para el día 15 de diciembre del 2015 se presenta a las 12 pm y es de 14, valor que correspondería a un nivel de riesgo extremadamente alto según la escala de la OMS (Figura 6).

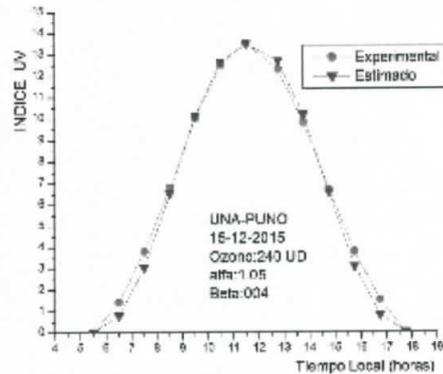


Figura 6. Índice UV experimental y estimado para 15 de diciembre 2015

El valor del IUV máximo diario calculado para el día 15 de enero del 2016 se presenta a las 12 pm y es de 14, valor que correspondería a un nivel de riesgo extremadamente alto según la escala de la OMS (Figura 7).

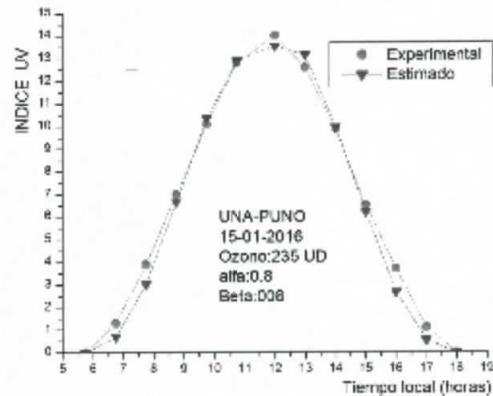


Figura 7. Índice UV experimental y estimado para 15 de enero 2016

Según las figuras 3, 4, 5, 6 y 7 existe un mayor intervalo de duración del IUV máximos diario conforme transcurren los meses.

También se realizó la comparación del IUV total y el IUV tipo A y B (Figura 8), donde se observa una buena correlación. Según la figura 8 el porcentaje del IUV Total es de 100%, IUV-B máximo al medio día solar es aproximadamente el 76.4%, mientras que un 23.6% corresponde a la radiación IUV-A.

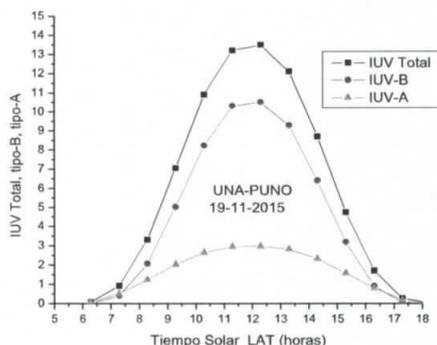


Figura 8. Porcentaje para el IUV máximo al medio día solar

**Comportamiento del IUV máximo diario durante el periodo Septiembre 2015 a Septiembre 2016**

La Figura 9 muestra el comportamiento diario del IUV máximo diario reportado por la estación meteorológica, donde los dos valores mínimos del IUV fueron de 6.2 y 2.7 los cuales se registraron en los días 30 de noviembre de 2015 y 07 de julio del 2017 respectivamente que además corresponderían a días completamente nublados. En cuanto a los valores máximos fueron dos de 14.7, 14.6 y se registraron en los días 21 de enero y 02 de febrero del 2016 respectivamente. Además se observa que durante el mes de setiembre del 2015 el promedio del IUV máximo diario tiene un comportamiento ascendente que varía entre 10 y 14, este aumento progresivo se relaciona con el cambio de estación de primavera a verano y corresponde al periodo donde la tierra se acerca al sol hasta llegar a su punto más cercano conocido como perihelio. Durante los meses de octubre a febrero el valor promedio del IUV máximo diario tiene un comportamiento constante, donde el máximo valor del IUV fue de 14.7 para el día 21 de enero del 2016. Entre los meses de marzo y junio se observa un descenso progresivo en el IUV que alcanza un valor de 6.3 el día 25 de Junio del 2016 el comportamiento del IUV en este periodo coincide con el alejamiento de la tierra respecto al sol hasta llegar al punto más alejado conocido como afelio. A partir de julio se nota nuevamente un aumento progresivo del IUV repitiéndose el ciclo.

Estos resultados muestran que según la escala de la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2003), la ciudad de Puno se encuentra en un nivel de riesgo extremadamente alto durante los meses de octubre a febrero.

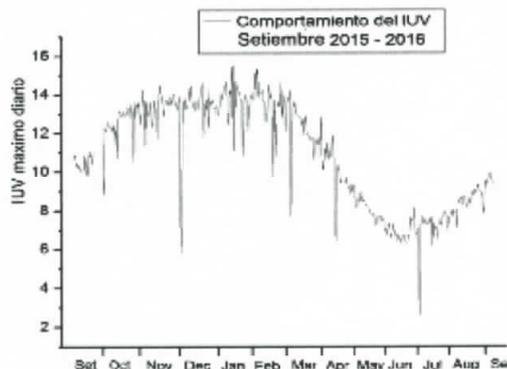


Figura 9. Comportamiento del IUV máximo diario en el periodo setiembre 2015 a setiembre 2016

En la Figura 10 se muestra la influencia del factor atmosférico de la capa de ozono sobre el comportamiento del IUV para cielos con y sin nubes notándose un comportamiento inverso entre dichas variables.

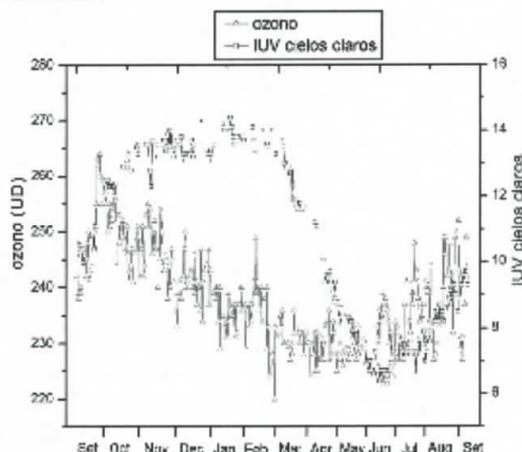


Figura 10. Influencia atmosférica del Ozono sobre el IUV máximo diario

Con respecto comportamiento anual de la radiación solar global y el IUV cuando se tiene cielos sin nubes, parcialmente con nubes antes o después del cenit se observa que hay una buena performance entre dichas variables, según el ajuste estadístico de regresión lineal el valor de r entre ambas variables es 0.986 En general se observa que durante el mes de setiembre se observa un aumento progresivo para ambas variables, entre octubre y febrero se mantiene constante y desciende a partir de marzo.

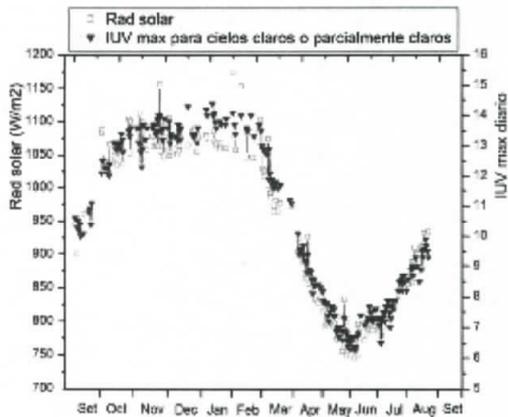


Figura 11. Comparación diaria de la radiación solar y el IUV máximo diario. Para cielos sin nubes o nublados antes o después del mediodía

Un factor geométrico que influye de forma inversa en el IUV máximo diario es la declinación del sol respecto a la Tierra, esto se observa en la Figura 12. Según la gráfica, el día 23 de junio de 2016 es cuando se presenta el valor máximo de declinación 23.49 y el IUV diario es mínimo de 6.7 y el día 22 de diciembre de 2015 presenta el valor mínimo de declinación -23.46 y el IUV diario máximo 13.7

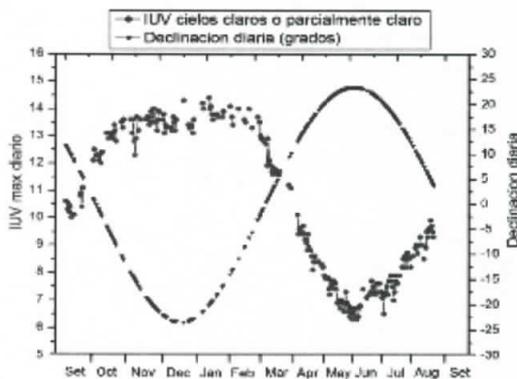


Figura 12. Influencia del factor geométrico declinación del sol sobre el IUV máximo diario en la superficie terrestre

En el proceso de la estimación de los cielos sin nubes o ligeramente nublados antes o después del cenit, se obtiene el comportamiento atmosférico del coeficiente de turbidez (beta) instantáneo para el medio día solar (Figura 13). Notándose que en la estación primavera, verano los valores de beta son pequeños, indicando poca concentración de aerosoles en la atmosfera y por lo tanto mayor incidencia del IUV máximo diario. Mientras que en la época de otoño e invierno, los valores de beta aumentan indicando una mayor presencia de aerosoles que de alguna manera atenúan la radiación solar; se debe recalcar que los coeficientes de turbidez tiene un comportamiento dinámico para cada instante; según Salazar y otros (2010) y Pedros y otros (1999) se considera un valor promedio estacional para cada día; estos valores estimados según el modelo se deben validar con las

mediciones, siendo necesario instrumentos como espectroradiómetros y fotómetros solares.

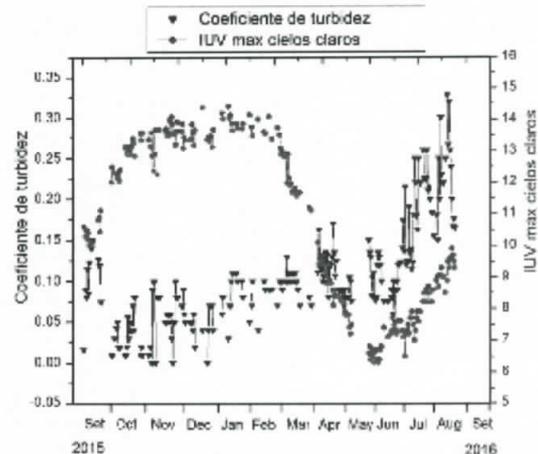


Figura 13. Influencia atmosférica del coeficiente de turbidez sobre el IUV máximo diario

Finalmente se ha notado la presencia de estratocúmulos en el mes de enero del 2016 como se muestra en la siguiente Figura 14. El 15 de enero el IUV máximo fue 14, se esperaba tener un valor similar para los siguientes días, pero el día 16 el cielo fue parcialmente nublado y presento un pico con un valor de 15.4 a las 12:30 horas del IUV; el día 17 se tuvo un cielo completamente nublado el valor del IUV máximo fue 10.2 a las 10:45 horas, mientras que el día 18 el cielo fue parcialmente nublado siendo el IUV máximo de 15.5 a las 12:15 horas; es importante mencionar que en este día el IUV máximo superior a 14 y se prolongaron desde las 12:15 hasta las 13:00 horas. Entonces, la presencia estratocúmulos muestra claramente el aumento del IUV diario por encima de lo esperado.

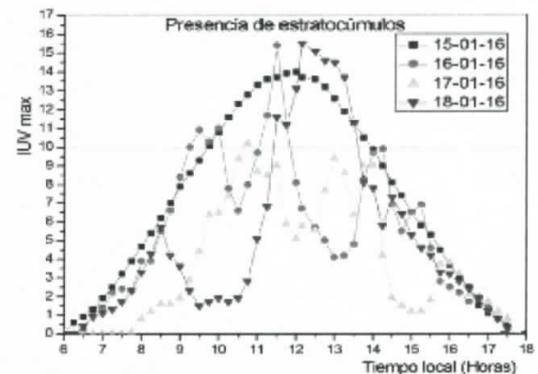


Figura 14. Presencia de nubes estratocúmulos se nota que los valores del IUV máximo diario a un día sin nubes

## Conclusiones

El modelo espectral del IUV que se está desarrollando para la ciudad de Puno presenta una buena performance con las mediciones para cielos claros sin nubes, la correlación en promedio para los 6 días arbitrarios elegidos, es de 0.99. El modelo permite estimar también que hay un 76.4 % del IUV-B siendo este tipo de radiación el más nocivo para la salud; y el 23.6% corresponde al IUV-A. La estimación diaria del modelo para cielos sin nubes o parcialmente nublados permite estimar el coeficiente de turbidez que está en el intervalo de [0.1-0.32].

El monitoreo anual del IUV en la ciudad de Puno muestra claramente que a partir del mes de setiembre los valores del IUV están en la escala de muy alto según la OMS. Estos valores en la estación de verano pueden llegar a la escala extremadamente alto, siendo necesario enviar boletines a los medios de información para que ellos puedan informar y alertar a la población sobre los peligros de la radiación solar ultravioleta.

## Referencias bibliográficas

- Albizzati, E. D., Rossetti, G. H., y Alfano, O. M. (2002). Mediciones de la radiación solar UVB y predicción de la radiación solar UV eritémica bajo cielos claros y sin nubes. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 6(2), 25-30.
- Angstrom, A. (1961). Techiques of determining the turbidity of the atmosphere. *The Eppley foundation for research*, USA.
- Bird, R. E., y Riordan, C. (1986). Simple solar spectral model and irradiance on horizontal and tilted planes at the Earths Surface for cloudless atmospheres.
- Calle, A., Perez, A. M., y Casanova, J. L. (1999). Análisis de la irradiancia Eritemática datos experimentales y relacion con el contenido total de ozono. *Congreso Nacional de Teledeteccion* (pp. 162-165). España: Albacete.
- Hoppe, P., Rabe, G., Praml, G., Lindner, J., Jakobi, G., & Fruhmann, G. (1996). Are there risk groups in respect to acute effects of environmental ozone. *Proceeding of 14th international congress of biometeorology*, 40-49.
- Iqbal, M. (1983). An introduction to solar radiation. *Academic press*.
- Kasten, F. A. (1966). Anew Talba and aprociate formula for relative optical air mass. *Meteorol Geophys Bioklimatol*, 206-223.
- Leffell, D. J., y Brash, D. E. (1996). Radiación solar y cáncer de piel. *Investigacion y ciencia*, 62-68.
- Liley, J.B., and R.L. McKenzie, Where on Earth has the highest UV?, in *UV Radiation and its Effects: an update*, pp. 26-37, 2006.
- Luccini, E. (2007). Efecto de incremento de radiación solar por nubes dispersas en el ambiente de bahía paraiso, peninsula antartida. *VI simposio y III latinoamericano de investigación antarticas*.
- McKinlay, A. F., and Diffey, B. L. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, Human exposure to UV radiation: risk and regulation. *Elsesiver Science*, 83-87.
- Organizacion Mundial de la Salud. (2003). *Indice UV solar mundial guía practica*.
- Pedros, R., Utrillas, M., Martinez Lozano, and Tena, F. (1999). Values of broadband turbidity coefficients in a mediterranean coastal site. *Solar Energy*, 11-22.
- Robinson, N. (1966). Solar radiantion. *American Elsevier*.
- Salazar, G. A., Raichijk, C. F., & Farfan, F. (2010). Estimación del coeficiente de turbidez B de Angstrom a partir de mediciones de irradiancia global y directa, caso de estudio: ciudad de Salta (Argentina). *Avances en energia renovables y medio ambiente*, 57-61.
- Spencer, J. W. (1971). Fourier series representation of the position of the sun. *Search*, 172.
- Tena, F., & Utrillas, A. (1998). Radiación solar ultravioleta y prevencion del eritema. *Revista española de física*, 18-24.
- Varo Martinez, M. M. (2006). *Modelozación de la radiación ultravioleta solar*. Cordoba.