

Índice Ultravioleta en la ciudad de Puno para cielos claros Ultraviolet Index in the city of Puno for clear skies

Matías Huillca Arbieta¹, Ciro William Taipe¹, Miguel Saavedra²

¹ Escuela Profesional de físico matemáticas de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú.

² Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correspondencia email: matias0416@hotmail.com

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido 30-12-2016
Artículo aceptado 19-06-2017
On line: 26-06-2017

PALABRAS CLAVES:

radiación ultravioleta,
índice ultravioleta

ARTICLE INFO

Article received 30-12-2016
Article accepted 19-06-2017
Online: 26-06-2017

KEY WORDS:

Ultraviolet radiation,
Ultraviolet index

RESUMEN

En La región altiplánica de Puno- Perú el Índice de Radiación Ultravioleta (IUV) sobre la escala internacional son superiores a los normales en determinadas estaciones del año y reflejan alto riesgo de eritema en las personas, alteraciones en el ecosistema terrestre y acuático. Por tal motivo se instaló una estación radiométrica automática y certificada en la Universidad Nacional del Altiplano, siendo el objetivo principal la búsqueda de un modelo espectral del IUV. Se escogieron arbitrariamente 6 días de cielo claro sin nubes, un día por cada mes desde agosto del 2015. Se demostró una buena performance entre el modelo y las mediciones, siendo la correlación en promedio 0.99. Así mismo el modelo permite estimar el índice de la radiación ultravioleta tipo B que es aproximadamente un 76.4% y un 23.6 % corresponde al tipo A, esto es cuando el sol se encuentra en el cenit. Por otra lado las mediciones muestran un comportamiento sinusoidal notándose cierta estabilidad en el verano, los valores Índice máximo diario fue en promedio de 14 desde octubre hasta febrero. La difusión de los datos del IUV permitirá informar, alertar y sensibilizar a la población de los efectos nocivos para la salud.

ABSTRACT

In the highland region of Puno-Peru, the Ultraviolet Radiation Index (IUV) on the international scale are higher than normal at certain seasons of the year and reflect high risk of erythema in people, alterations in the terrestrial and aquatic ecosystem. For that reason an automatic radiometric station was installed and certified in the National University of the Altiplano, being the main objective the search of a spectral model of the IUV. We chose arbitrarily 6 days of clear sky without clouds, one day for each month from August of 2015. A good performance was demonstrated between the model and the measurements, being the correlation in average 0.99. Also the model allows to estimate the rate of ultraviolet radiation type B that is approximately 76.4% and 23.6% corresponds to type A, that is when the sun is at the zenith. On the other hand the measurements show a sinusoidal behavior noting some stability in the summer, the values Index daily maximum was on average of 14 from October until February. The dissemination of IUV data will inform, alert and sensitize the population of the harmful effects on health.

1) Tesista Facultad Ciencias Agrarias/Ingeniería Agronómica UNA-PUNO

© RIA - Vicerectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons  (CC BY-NC-ND), <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

INTRODUCCIÓN

La radiación ultravioleta (UV) que proviene del sol varía a lo largo del año, depende de la distancia Tierra-Sol, el ángulo horario, el ozono y de los aerosoles presentes en la atmósfera, se divide en tres regiones UVC (100-280)nm; UVB (280-315)nm; UVA (315-400)nm. Esta radiación se clasifica como un agente cancerígeno (Sordo, 2013);(WHO, 2003). La exposición excesiva de la piel a la radiación UV, se relaciona con la aparición de melanomas, alteración del ADN genérico que van en aumento en los últimos años (Cabrera, 2006), (Leffell & Brash, 1996), (Hoppe, 1996) y (Calle, 1999), no obstante pequeñas cantidades de UV son necesarias para una buena salud ya que transforma la vitamina D (Moncada, 2003);(Bohórquez & Perez, 2007).

También tiene efecto sobre los ecosistemas terrestres a través de acciones en plantas, microbios (Caldwell, 1988), la literatura muestran que algunas plantas tienen mayor tamaño en ausencia de la radiación UV (Zhang, 2014); existen también estudios sobre los efectos de la radiación UV en ecosistemas acuáticos (Hader, 2001), (Fricke, 2014), ya que degrada fotolíticamente el carbono orgánico para que puedan ser absorbidos por el bacterioplancton.

Debido a su importancia la OMS clasifica el índice ultravioleta (IUV), en las siguientes escalas Baja [0 a 2]; Moderada [3 a 5]; Alta [6 a 7]; Muy alta [8 a 10]; Extremadamente alta [11 a 20] (WHO, 2003). Para el desarrollo del presente trabajo se relatan una serie de expresiones para el modelo, tomadas por (Bird & Riordan, 1986), (Iqbal, 1983) y se sigue la metodología seguida por (Wright, 2010). El comportamiento del IUV es similar al obtenido por (Hernandes, 2014) pero los valores son diferentes debido a su ubicación geográfica. También en el presente trabajo a diferencia de Hernández, se menciona la relación entre la hora solar, hora local y ecuación del tiempo que es necesario para determinar el ángulo horario. Cabe mencionar que en los trabajos recientes como (Bilbao J., 2011), (Mateos, 2010),

(Bano, 2013), (Wang, 2014), (Gong, 2015); se busca relaciones empíricas locales entre el IUV, radiación solar global, la capa de ozono, índice de claridad, etc. En la sección 2 se propone las ecuaciones para el modelo, en las secciones siguientes el procedimiento experimental; resultados y las discusiones respectivas.

MODELO DEL ÍNDICE DE RADIACIÓN UV

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

$$I_D = I_0 E_0 T_r T_a T_0 \cos(z) \quad (1)$$

Dónde I_0 : 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 el 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 : Es el ángulo cenital

I_0 : **2.1 Tramitancia de Rayleigh** está dado por:

$$T_r = \exp(-0.008735 \cdot m_a^{4.08}) \quad (2)$$

Donde La masa de aire se obtiene por la expresión $m_a = P/P_0$, donde P y P₀ son las presiones local y a nivel del mar, mientras que la masa de aire óptica relativa m_a dado por (Kasten, 1964) se expresa como:

$$m_a = \frac{1}{\cos(z) \cdot 180} \cdot 0.15(93.885 \cdot z)^{1.253} \quad (3)$$

2.2 Tramitancia de aerosoles se expresa como:

$$T_a = \exp(-\beta \cdot m_a) \quad (4)$$

Es la relación de (Angstrom, 1961), el parámetro β es un exponente estrechamente relacionado con el tamaño y la forma de las partículas, varía desde 1.30.5±; 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)

2.3 Tramitancia del ozono dado por la siguiente expresión

$$T_o = \exp(-u_o A_o m_o) \quad (5) b$$

u_o (atm cm) Es el espesor de capa de ozono en Unidades Dobson (UD); m_o es el coeficiente de absorción de ozono los valores se han tomado de (Iqbal, 1983). La masa óptica del ozono dado por (Robinson, 1966) se expresa como:

$$m_o = \frac{1}{[\cos^2 z + (3/r_e)]^{0.5}} \quad (6)$$

2.4 Irradiancia Difusa.

Para determinar la irradiancia solar difusa se ha seguido el modelo propuesto por (Bird & Riordan, 1986) que considera tres procesos de difusión fundamentales, la dispersión de Rayleigh, aerosol y del albedo terrestre, la expresión es:

$$I_d = I_{dr} + I_{da} + I_{dm} \quad (7)$$

2.5 Irradiancia Difusa debido a la Dispersión de Rayleigh

La irradiancia UV difusa producido por la dispersión de Rayleigh después haber sufrido procesos absorción en la atmósfera se determina de la ecuación propuesta por (Bird & Riordan, 1986),(Iqbal, 1983)

$$I_{dr} = I_o E_o \cos(z) T_o [0.5(1 - T_r) T_a] \quad (8)$$

2.6 Irradiancia Difusa debido a la Dispersión de Aerosoles

La irradiancia difusa dispersada por los aerosoles que llega al suelo después de su primer pasó a través de la atmósfera, se obtiene como.

$$I_{da} = I_o E_o \cos(z) T_o [F_c w_o (1 - T_a) T_r] \quad (9)$$

El factor F_c es la relación de la energía dispersada hacia el suelo respecto de la energía total dispersada, la determinación de w_o es casi imposible, ya que se relaciona con el material, forma, tamaño y propiedades ópticas. Es común asignar un valor fijo y arbitrario a w_o y es invariante con longitud de onda, normalmente esta entre 0,7 y 1,0(Iqbal, 1983)

2.7 Irradiancia Multiple

Está dado por:

$$I_{dm} = (I_D \cos(z) - I_{dr} - I_{da}) (g_a / (1 - g_a)) \quad (10)$$

El albedo se define como la proporción de la energía reflejada respecto a la energía g incidente. g_r Es el albedo del suelo se asume el valor de 0.2, g_a es el albedo debido a la atmosfera, su valor es muy pequeño y su expresión es

$$g_a = T_o [0.5(1 - T_r) T_a + (1 - F_c) w_o (1 - T_a) T_r] \quad (11)$$

Reemplazando (8), (9) y (10) en (7) tenemos la irradiancia global

$$I_g = \frac{E_o T_o T_a T_o T_o [0.5(1 - T_r) T_a + (1 - F_c) w_o (1 - T_a) T_r] + I_o \cos(z)}{1 - g_a} \quad (12)$$

2.8 Coeficiente de Acción Eritematica

Fue establecido por (Mc Kinlay & Diffey, 1987), los valores espectrales (m) el vienen expresado por:

$$\begin{aligned} 0.298 & m & 1 \\ 0.298 & m & 0.328 = 10^{0.094(298-1000)} \\ 0.328 & 0.400 & = 10^{0.015(139-1000)} \\ 0.400 & & = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Finalmente el IUUV se integra de 280 a 400 nm y se determina por:

$$IUUV = \int_{280}^{400} (m) I_d \quad (14)$$

2.9 Relación entre el Tiempo solar Verdadero (LAT) y la Hora local (TSM)

Esta relación está dado por:

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

LAT ; TSM Se expresa en horas; L_s 75 W es el meridiano para el Perú; L_l 70.03 W es el meridiano para la ciudad de Puno, E_t es la ecuación del tiempo varia cada día, se expresa en minutos, finalmente la relación entre el ángulo horario y la hora solar verdadera(Varo Martinez, 2006) se expresa como:

$$\frac{360}{24} LAT - 12 = 15 LAT - 12^\circ \quad (16)$$

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La Ciudad de Puno está ubicada en las siguientes coordenadas geográficas latitud -15.83° ; longitud -70.03° y altitud de 3825 m (m.s.n.m.). Una parte del año los cielos son claros sin nubes y la otra parte son parcial o totalmente nublados, una característica del comportamiento del IUV en cielos claros es la simetría en forma de campana. Las mediciones de este trabajo se realizaron en la Universidad Nacional del Altiplano- Puno; para ello se dispone de la estación meteorológica automática Davis instruments, modelo Vantage pro 2 plus, calibración y certificada por el fabricante. El sensor del IUV es de [290-390]nm, tiene un rango de [0-16], una resolución de 0.1, y una precisión del 5%.



Fig.1 a) Estación meteorológica ubicada en la facultad de ingeniería Civil; b) Consola que almacena los datos de la estación enviados inalámbricamente por la estación.

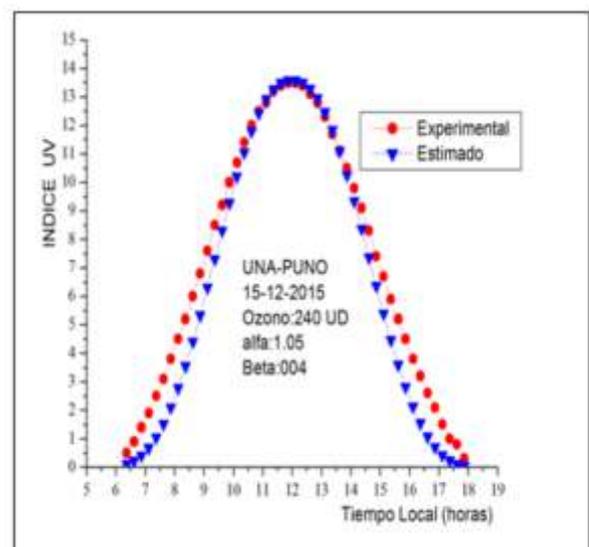
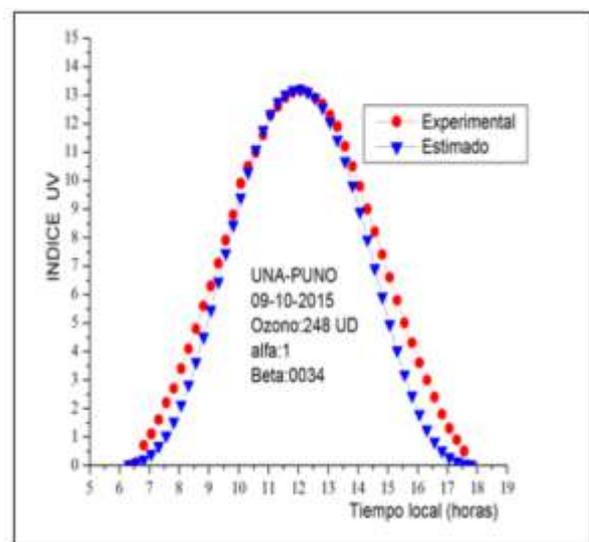
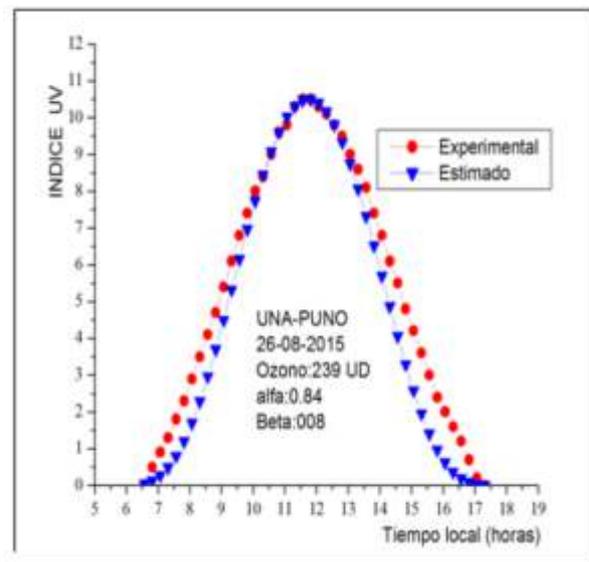
METODOLOGÍA

En este trabajo se ha recopilado los datos del IUV cada 15 minutos. Se eligió arbitrariamente 6 días de cielo claros sin nubes, 26 de agosto, 7 de setiembre, 9 de octubre, 19 de noviembre, 15 de diciembre del 2015 y el 15 de enero del 2016. Los datos del espesor de la capa de ozono, son proporcionados por instrumento TOMS, se puede acceder vía <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/tools/ozonemap/>. Con el modelo descrito anteriormente se obtiene el IUV calculado y se compara con las mediciones, utilizando para ello las pruebas y análisis estadístico como la regresión lineal, correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta sección mostramos los resultados obtenidos del IUV por el modelo y se compara con las

mediciones, como se muestra en las figuras 2a; 2b; 2c y 2d



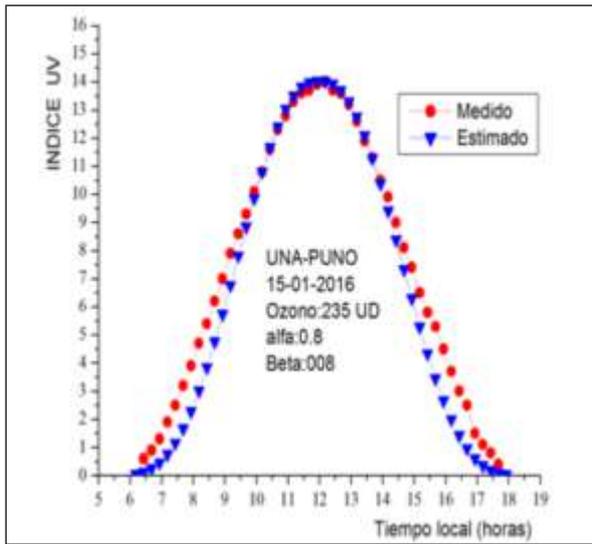


Fig. 2 a; 2b; 2c; 2d Muestra el Índice UV experimental y estimado en función de las de las horas

Estas figuras muestran una buena performance, la correlación en promedio para los 6 días fue de 0.99; no obstante se debe mejorar el modelo entre las 7-9 horas y de 15- 18 horas. El valor del IUV máximos diario en la figura 2 a) fue de 11 y para la figura 2 d) fue de 14, notándose un aumento progresivo.

A partir del 9 de octubre se obtiene valores IUV máximos superiores a 12, que es extremadamente alto según la escala de la OMS; estos valores empiezan aproximadamente desde la 11:30 am hasta las 12:30 pm. Para el 15 de enero los valores máximos en cielos despejados empiezan desde la 10:30am hasta las 13:15pm, notándose un mayor intervalo de duración del IUV máximos diario conforme transcurren los meses como se muestra en la figura 3

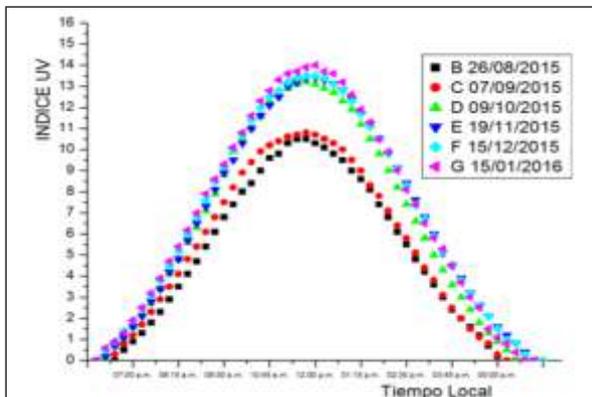


Fig. 4. Estimación del porcentaje según el modelo del IUV, IUV-By el IUV-A al medio día

La figura 4 muestra una buena correlación del IUV para cielos claros, por ello el modelo permite estimar el porcentaje del **IUV-B** máximo al medio día solar es aproximadamente el **76.4%**, mientras que un **23.6%** corresponde a la radiación UV-A estos resultados están de acuerdo con (Cabrera, 2006)

En la figura 5 se muestra el comportamiento del IUV máximo diario reportado por la estación meteorológica, los valores mínimos del IUV corresponden a días completamente nublados. Se observa que a fines de setiembre del 2015 hay una tendencia ascendente del IUV; desde fines de Octubre a fines de febrero el valor promedio del IUV máximo diario es 14, este aumento se debe a la estación veraniega conocido como perihelio.



Fig. 5 Comportamiento del IUV máximo diario en el periodo setiembre 2015 a setiembre 2016

El máximo valor del IUV se reportó para el día 21 de enero del 2016 siendo su valor **14.4**. A inicios de marzo hay un descenso del IUV, notándose que el 25 de Junio del 2016 el valor del IUV es **6.3**, esto coincide con el alejamiento de la tierra del sol, conocido como **afelio**. A fines de julio se nota nuevamente un aumento progresivo del IUV repitiéndose el ciclo. Según (Bilbao J. , 2011), (Gandia, 2015) y (Miguel, 2011) hay un comportamiento **sinusoidal** notándose una mayor estabilidad del IUV en la estación veraniega. Esta

figura muestra que a partir del mes de setiembre hay un incremento del IUV que está en la escala **alto** (WHO, 2003) y que a partir de octubre hasta febrero el IUV puede pasar a la escala **extremadamente muy alto**. Esta afirmación está sujeta al comportamiento de otras variables climatológicas como las lluvias, cielo parcialmente o totalmente cubierto de nubes. Los valores del IUV extremadamente muy alto, son perjudiciales no solo para la población sino también para los ecosistemas terrestre, acuáticos; siendo necesario informar oportunamente a la población.

CONCLUSION

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 arbitrario 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 de la población, ecosistemas terrestres y acuáticos y el 23.6% corresponde al IUV-A.

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. También se observa que en el IUV es aproximadamente estacionario en el verano, mientras que su comportamiento anual es aproximadamente sinusoidal.

Los valores del IUV en la estación de verano pueden llegar a la escala **extremadamente alto**, siendo necesario enviar **boletines** a los medios de información; para informar y alertar a la población sobre los peligros de la radiación solar ultravioleta.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al laboratorio de física de la C.P. Físico Matemáticas por los datos proporcionados, así mismo al Lic. Ruperto Zapana

Yerba por sus comentarios sobre el análisis estadístico, también al Dr. German Yabar Pilco por las sugerencias sobre la redacción del trabajo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ansgrom, A. (1961). Techiques of determining the turbidity of the atmosphere. the Eppley foundation for research, USA.
- Bano, T. (2013). Solar global ultraviolet and broadband global radiant fluxes and their relationships with aerosol optical depth at New Delhi. *International Journal of Climatology*, 1551-1562.
- Bilbao, J. (2011). Analysis and cloudiness influence on UV total irradiation. *Jornal of Climatology*, 451-460.
- Bilbao, J. (2011). Analysis and cloudiness influence on UV total irradiation. *International Journal of climatology*, 451-460.
- Bird, R. E., & Riordan, C. (1986). Simple solar spectral model and irradiance on horizontal and tilted planes at the Earths Surface for cloudless atmospheres.
- Bohórquez, J. J., & Perez, J. (2007). Radiación ultravioleta. *Ciencia y Tecnología para la salud Visual y Ocular*, 97-104.
- Cabrera, C. (2006). Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel. *Hospital Universitario Virgen de las Nieves*, 25-32.
- Caldwell, M. B. (1988). Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. *Journal of Photochemistry and Photobiology B- Elsevier*, 40-52.
- Calle, e. a. (1999). Analisis de la irradiancia Eritematica datos experimentales y relacion con el contenido total de ozono. *Congreso Nacional de Teledeteccion* (pp. 162-165). España: albacete.
- Fricke, A. T. (2014). Effects of depth and ultraviolet radiation on coral reef turf algae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Elsevier, 73-84.

- Gandia, S. (2015). Relationship between UVB and broadband solar radiation. *International Journal of Climatology*, 1761-1771.
- Hader, D. (2001). Effects of Solar UV-b Radiation on Aquatic Ecosystems. *Instrut fir Botanik and Pharmazeutische Blologie der Frledrich-Alexander-Unrversrtat, Staudtstr. 5, Elsevier, 2029-2040.*
- Hernandes, K. (2014). Medición y cálculo del índice ultravioleta en costa rica. *TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS*, 41-55.
- Hoppe, e. a. (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 introduccion to solar radiation.* academic press.
- Kasten, F. (1964). A new Table and Approximation Formula for the relative optical air mass. *Meteorol Geophys Bioklimatol*, 1-10.
- KcKinlay, A. F., & Diffey, B. L. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, *Human exposure to UV radiation: risk and regulation.* Elsevier Science, 83-87.
- Leffell, D. J., & Brash, D. E. (1996). Radiación solar y cáncer de piel. *Investigacion y ciencia*, 62-68.
- Luccini, E. (2007). Efecto de incremento de radiacion solar por nubes dispersas en el ambiente de bahia paraiso, peninsula antartida. *VI simposio y III latinoamericano de investigacion antarticas.*
- Mateos, D. (2010). Empirical models of UV total radiation and cloud effect. *International Journal of Climatology*, 1407-1415.
- Mc Kinlay, A. F., & Diffey, B. L. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, *Human exposure to UV radiation: risk and regulation.* Elsevier Science, 83-87.
- Miguel, A. B. (2011). Measurements and attenuation of erythemal radiation. *International Journal of Climatology*, 1-12.
- Moncada, J. (2003). La radiación ultravioleta y la piel del deportista. *Revista Educacion*, 165-172.
- Pedros, R., Utrillas, M., Martinez Lozano, & 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). Estimacion 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.
- salud, O. m. (2003). *indice UV . Ginebra Suiza: Biblioteca de OMS.*
- Sordo, C. G. (2013). *Cancre de la piel y Radiacion solar y experiencia peruana enla prevencion y deteccion temprana SOLAR : EXPERIENCIA.* Peru Medico Exposicion de Salud Publica, 113-117.
- Spencer, J. W. (1971). Fourier series representation of the position of the sun. *Search*, 172.
- Tena, F., & Utrillas, A. (1998). Radiacion solar ultravioleta y prevencion del eritema. *Revista española de fisica*, 18-24.
- Varo Martinez, M. M. (2006). *Modelozacion de la radiacion ultravioleta solar.* cordoba.
- Wang, L. (2014). Measurements and cloudiness influence on UV radiation in Central China. *International Journal of Climatology*, 3417-3425.
- WHO. (2003). *indice UV. Ginegra Suiza: Biblioteca de la OMS.*
- Wright, J. (2010). Medicion y prediccion de la radiacion solar global y el UV-B bajo cielos clartos sin nubes. *UNICIENCIA-24*, 111-121.
- Zhang, L. M. (2014). Solar ultraviolet radiation exclusion increases soybean internodelengths and plant height. *Agricultural and Forest Meteorology, Elsevier*, 170-178.

